



**TUGAS AKHIR - SS141501**

**ESTIMASI KONSENTRASI KARBON MONOKSIDA  
(CO) PADA KASUS PENCEMARAN UDARA DI  
KOTA SURABAYA DENGAN METODE  
*UNIVERSAL KRIGING***

**RISKHA TRI OKTAVIANI  
NRP 1311 100 031**

**Dosen Pembimbing  
Dr Sutikno M.Si**

**Program Studi S1 Statistika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015**



**FINAL PROJECT - SS141051**

# **CARBON MONOOXIDE (CO) ESTIMATION OF AIR POLLUTION IN SURABAYA USING UNIVERSAL KRIGING METHOD**

**RISKHA TRI OKTAVIANI**  
**NRP 1311 100 031**

Supervisor  
Dr Sutikno M.Si

Undergraduate Programme of Statistics  
Faculty of Mathematics and Natural Sciences  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2015

## LEMBAR PENGESAHAN

### ESTIMASI KONSENTRASI *KARBON MONOKSIDA* (CO) PADA KASUS PENCEMARAN UDARA DI KOTA SURABAYA DENGAN METODE *UNIVERSAL* *KRIGING*

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains  
pada  
Program Studi S-1 Jurusan Statistika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**RISKHA TRI OKTAVIANI**

**NRP. 1311 100 031**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Dr Sutikno M.Si

**NIP. 19710313 199702 1 001**

()

Mengetahui

**Ketua Jurusan Statistika FMIPA-ITS**

  
Dr. Muhammad Mashuri, MT.

**NIP. 19620408 198701 1 001**

JURUSAN

**SURABAYA, JULI 2015**

# **ESTIMASI KONSENTRASI KARBON MONOKSIDA (CO) PADA KASUS PENCEMARAN UDARA DI KOTA SURABAYA DENGAN METODE UNIVERSAL KRIGING**

**Nama Mahasiswa** : RiskhaTri Oktaviani  
**NRP** : 1311 100 031  
**Jurusan** : Statistika FMIPA-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Sutikno, M.Si

## **ABSTRAK**

*Salah satu polutan berbahaya yang memberikan sumbangsih besar dalam pencemaran udara adalah karbon monoksida (CO). Pengukuran konsentrasi CO di udara dilakukan melalui suatu proses panjang menurut Standar Nasional Indonesia (SNI), sehingga tidak semua wilayah di Surabaya dapat dilakukan pengukuran terhadap polutan tersebut. Oleh karena itu dilakukan estimasi konsentrasi CO dengan universal kriging. Estimasi CO didapatkan dengan semivariogram teoritis Exponential, karena nilai MSE model Exponential lebih kecil daripada model Spherical dan Gussian. Nilai estimasi CO yang dihasilkan bervariasi antara range 6.92 ppm sampai 15.19 ppm yang terbagi ke dalam 5 kelas. Estimasi CO dominan berkisar antara 10.02 ppm sampai 11.87 ppm. Konsentrasi CO terkecil berada di Perempatan Jl Tropodo-Jl Bandara Djuanda sebesar 6.92 ppm. Konsentrasi CO terbesar berada di Sukomanunggal di Jalan Sukomanunggal sebesar 15.19 ppm. Estimasi konsentrasi CO yang dihasilkan mempunyai nilai yang beragam dengan varians estimasi CO sebesar 4.8. Estimasi CO dengan metode universal kriging lebih baik daripada metode ordinary kriging dengan kriteria nilai MSE hasil estimasi yang lebih kecil yaitu 1.52 dibanding 2.18 pada ordinary kriging. Selain itu hasil estimasi dengan universal kriging lebih beragam dengan varians estimasi sebesar 4.89 dan range estimasi sebesar 8.27 sedangkan ketika menggunakan ordinary kriging varians estimasi hanya sebesar 2.41 dan range estimasi sebesar 5.66.*

**Kata kunci** : **Karbon Monoksida (CO), Semivariogram, Universal Kriging**

# **CARBON MONOOXIDE (CO) ESTIMATION OF AIR POLLUTION IN SURABAYA USING UNIVERSAL KRIGING METHOD**

**Name of Student** : Riskha Tri Oktaviani  
**NRP** : 1311 100 031  
**Department** : Statistics FMIPA-ITS  
**Supervisor** : Dr. Sutikno, M.Si

## **ABSTRACT**

*One of the pollutants that has major contribute to air pollution is CO. Measuring the exact concentrations of CO in the air requires a long process, according to Indonesian National Standard (SNI), therefore not all of the areas in Surabaya can be measured directly. One way to stimate the concentration of CO in area is to use universal kriging. CO concentration is estimated using the Exponential theoretical semivariogram, because the MSE of Exponential models are smaller than the MSE of Sherical and Gaussian model. The resulting CO estimation value is varied between 6.92 ppm to 15.19 ppm and is divided to 5 class. The dominant CO estimation value is between 10.02 ppm to 11.87 ppm. The lowest CO concentration is in Cross Tropodo street-Bandara Djuanda street with a value of 6.92 ppm. The highest CO concentration is in Sukomanunggal at Sukomanunggal street with a value of 15.19 ppm. The resulting CO estimation value is varied with an estimated variance of 4.89. CO estimation using universal kriging method in this case is proven to be better than CO estimation using ordinary kriging method. It is shown that universal kriging has the lower MSE estimation with a value of 1.52 than ordinary kriging has the MSE estimation with a value of 2.18. besides that, universal kriging has the highest estimad variance and range with a value of 4.89 and a value of 8.27. meanwhile ordinary kriging just has estimated variance and range with a value of 2.41 and a value of 5.66.*

**Keywords:** *Carbon Moonoxide (CO), semivariogram, Universal Kriging*

## KATA PENGANTAR

Segala puji hanya bagi Allah, Rabb semesta alam yang dengan rahmaan dan rahiim-Nya kita dapat berkumpul dalam ketaatan untuk berhimpun dalam barisan ukhuwah yang kuat dan aqidah yang mantap untuk dapat menjalankan segala perintah-Nya dan menjauhi segala larangan-Nya. Aku ber-saksi bahwa tidak ada sesembahan yang haq kecuali Allah semata, tidak ada sekutu bagiNya dan aku bersaksi bahwa Muhammad adalah hamba dan utusanNya. Semoga shalawat, salam dan keberkahan senantiasa terlimpah-curahkan untuk yang terkasih, pahlawan sejati, penuntun hakiki, panutan umat surgawi, Nabi Muhammad SAW., keluarga, sahabat dan segenap orang yang tetap istiqomah dalam mengikuti dan menjalankan sunnahnya, serta tegar di jalan cinta para pejuang. Jalan dimana kereta dakwah melaluinya menuju surga.

Alhamdulillah, Tugas akhir berjudul **“ESTIMASI KONSENTRASI KARBON MONOKSIDA (CO) PADA KASUS PENCEMARAN UDARA DI KOTA SURABAYA DENGAN METODE *UNIVERSAL KRIGING*”** dapat terselesaikan dengan baik. Terselesaikannya Tugas Akhir ini, tidak terlepas dari dukungan berbagai pihak yang telah memberikan bimbingan dan bantuan pada penulis. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih sedalam dalamnya kepada :

1. Dr. Sutikno, M.Si, selaku dosen pembimbing yang telah memberikan ilmu, motivasi, wawasan, teladan, dan nasihat yang luar biasa berharga bagi penulis serta kesabaran dan sikap yang bijak dalam membimbing penulis menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Ir. Mutiah Salamah, M. Kes dan Santi Wulan Purnami, M. Si, Ph D, selaku dosen penguji yang dengan penuh kesabaran menguji penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

3. Dr. Muhammad Mashuri, M.T selaku Ketua Jurusan Statistika FMIPA ITS dan Dra. Lucia Aridinanti, M.S selaku Koordinator Program Studi S1 Jurusan Statistika FMIPA ITS yang telah memberikan fasilitas dalam kelancaran penyelesaian Tugas Akhir ini.
4. Dr. Purhadi, M.Sc selaku dosen wali yang telah membimbing penulis sejak awal masuk kuliah hingga penulis telah menyelesaikan studi pada jenjang S1 ini.
5. Orang tua penulis, Alm. S. Wiyono Sarmo dan Wagiyem serta kedua kakak penulis, Sri Wahyuni dan Tutik Widayati, yang telah sabar dan ikhlas menemani dengan segenap doa, dukungan, dan motivasi yang luar biasa besar sehingga penulis terus bersemangat hingga akhir penyelesaian Tugas Akhir ini.
6. Khusna, Eva, Prani, Faiq, Ratna, dan teman-teman Statistika 2011 yang senantiasa berjuang bersama-sama.
7. Keluarga Kabinet Kolaborasi Harmoni, Keluarga BPM Harmoni, dan Keluarga Ruhul Jadid yang dengan semangatnya menemani dan saling menguatkan untuk sama-sama berjuang memantaskan diri menjadi seorang sarjana.
8. Mbak Rosna, Mbak Memik, Nidaaul, Filza, Fitri K, Susi, Fidah, Fitri D, Anggit, dan Tutut atas segala perhatian, semangat, wawasan, canda dan haru yang menemani hari-hari penulis dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
9. Idrus, Ihsan, Ilham, Febri, Sindu, Rifai, Lino, Mas Rafsan, Mbak Dian, Mbak Nisa, Mbak Devi dan Mbak Iis, atas wawasan dan segala bantuannya kepada penulis.
10. Serta pihak-pihak lain yang sangat berjasa baik secara moril maupun materiil dalam kelancaran proses penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pihak-pihak terkait dan para pembaca. Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu penulis sangat menerima apabila ada saran dan kritik yang

sifatnya membangun guna perbaikan untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

*“Statistics is the art of never having to say you’re wrong.”*  
(C.J. Bradfield)

*“Essentially, all models are wrong, but some are usefull,”* (George E. P. Box)

Dari Abu Muhammad, Al Hasan bin ,Ali bin Abu Thalib, cucu Rasulullah Shallallahu ,alaihi wa Sallam dan kesayangan beliau radhiallahu 'anhuma telah berkata : “Aku telah menghafal (sabda) dari Rasulullah Shallallahu ,alaihi wa Sallam: “Tinggalkanlah apa-apa yang meragukan kamu, bergantilah kepada apa yang tidak meragukan kamu “. (HR. Tirmidzi)

Sejatinya ilmu itu ibarat anyaman, kadang pembuatnya terhenti sejenak, hingga tersadar saat anyaman itu telah utuh dan kian banyak waktu yang dihabiskan untuk menganyamnya. Maka tak ada menganyam ilmu selain kian menganyam kedekatan padaNya, kian merapat pada Dia Yang Maha Kuasa, kemudian yakin bahwa anyaman itu akan menjadi sebuah karya yang mengangkat derajat taqwa.

Surabaya , Juli 2015

Penulis



***(Halaman ini sengaja dikosongkan)***

## DAFTAR ISI

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| <b>ABSTRAK</b> .....        | vii |
| <b>ABSTRACT</b> .....       | ix  |
| <b>KATA PENGANTAR</b> ..... | xi  |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....     | xv  |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....  | xix |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....   | xxi |

### **BAB I PENDAHULUAN**

|                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| 1.1 Latar Belakang .....          | 1 |
| 1.2 Permasalahan Penelitian ..... | 5 |
| 1.3 Tujuan Penelitian .....       | 5 |
| 1.4 Manfaat Penelitian .....      | 5 |
| 1.5 Batasan Permasalahan.....     | 6 |

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

|   |    |
|---|----|
| 2.1 Statistika Deskriptif.....                              | 7  |
| 2.2 Data Spasial.....                                       | 8  |
| 2.3 Pengujian Distribusi Data .....                         | 9  |
| 2.4 Stasioneritas .....                                     | 10 |
| 2.5 Kovarians .....   | 11 |
| 2.6 Variabel Teregionalisasi .....                          | 12 |
| 2.7 Semivariogram Eksperimental dan Teori.....              | 12 |
| 2.8 Metode Kriging .....                                    | 16 |
| 2.9 Metode Universal Kriging .....                          | 19 |
| 2.10 Metode Ordinary Kriging.....                           | 25 |
| 2.11 Koordinat Universal Transverse Mercator (UTM)<br>..... | 25 |
| 2.12 Kepadatan Lalu Lintas.....                             | 28 |
| 2.13 Pencemaran Udara .....                                 | 29 |
| 2.13.1 Karbon Monoksida .....                               | 30 |
| 2.14 Penelitian Sebelumnya.....                             | 31 |

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

|  |    |
|--|----|
| 3.1 Sumber Data dan Lokasi Penelitian.....   | 35 |
| 3.2 Variabel Penelitian.....                 | 36 |
| 3.2.1 Pengukuran Karbon Monoksida (CO) ..... | 37 |
| 3.3 Langkah Analisis Data.....               | 39 |

### **BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

|  |    |
|--|----|
| 4.1 Karakteristik Konsentrasi Polutan Karbon Monoksida.....  | 45 |
| 4.2 Asumsi Normalitas pada Data Konsentrasi Polutan Karbon Monoksida (CO).....   | 45 |
| 4.3 Asumsi Stasioneritas pada Data Konsentrasi Polutan Karbon Monoksida (CO).....  | 46 |
| 4.4 Analisis Semovariogram Eksperimental untuk Mengestimasi Konsentrasi Polutan Karbon Monoksida (CO) dengan Universal Kriging ..... | 48 |
| 4.5 Analisis Semovariogram Teoritis untuk Mengestimasi Konsentrasi Polutan Karbon Monoksida (CO) dengan Universal Kriging .....      | 49 |
| 4.6 Estimasi Konsentrasi Polutan Karbon Monoksida (CO) dengan Universal Kriging .....  | 51 |
| 4.7 Estimasi Konsentrasi Polutan Karbon Monoksida (CO) pada Titik – Titik Tertentu di Surabaya dengan Universal Kriging .....        | 52 |
| 4.8 Perbandingan Hasil Estimasi Karbon Monoksida (CO) dengan Metode <i>Universal Kriging</i> dan <i>Ordinary Kriging</i> .....       | 55 |
| 4.8.1 Analisis Semivariogram Eksperimental untuk Mengestimasi Konsentrasi Polutan Karbon Monoksida (CO) dengan Ordinary Kriging..... | 55 |
| 4.8.2 Analisis Semivariogram Teoritis untuk Mengestimasi Konsentrasi Polutan Karbon Monoksida (CO) dengan Ordinary Kriging .....     | 57 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 4.8.3 | Estimasi Konsentrasi Polutan Karbon Monoksida (CO) dengan Ordinary Kriging .....  | 58 |
| 4.8.4 | Estimasi Konsentrasi Polutan Karbon Monoksida (CO) pada Titik – Titik Tertentu di Surabaya dengan Ordinary Kriging..... | 60 |

## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

|                      |    |
|----------------------|----|
| 5.1 Kesimpulan ..... | 65 |
| 5.2 Saran .....      | 65 |

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b> ..... | 67 |
| <b>LAMPIRAN</b>             |    |

***(Halaman ini sengaja dikosongkan)***

## DAFTAR TABEL

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Tabel 2.1 | Kriteria Batas Polutan Penting dari 3 Pencemar Utama .....   | 30 |
| Tabel 3.1 | Data Konsentrasi CO serta Koordinat Bujur Lintang dan Koordinat UTM.....                             | 36 |
| Tabel 3.2 | Titik – Titik Estimasi Konsentrasi Karbon Monoksida di Kota Surabaya (CO).....                       | 41 |
| Tabel 4.1 | Nilai Semivariogram beserta Pasangan Data Konsentrasi CO dan Jaraknya dengan Universal Kriging ..... | 48 |
| Tabel 4.2 | Hasil Estimasi Konsentrasi CO pada 20 Titik Tertentu di Kota Surabaya dengan Universal Kriging ..... | 53 |
| Tabel 4.3 | Nilai Semivariogram beserta Pasangan Data Konsentrasi CO dan Jaraknya dengan Ordinary Kriging .....  | 56 |
| Tabel 4.4 | Hasil Estimasi Konsentrasi CO pada 20 Titik Tertentu di Kota Surabaya dengan Ordinary Kriging .....  | 60 |
| Tabel 4.5 | Perbandingan Hasil Estimasi dengan <i>Universal Kriging</i> dan <i>Ordinary Kriging</i> .....        | 62 |

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR GAMBAR

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Gambar 2.1 | Semivariogram Eksperimental.....   | 13 |
| Gambar 2.2 | Grafik Model Spherical, Exponential dan Gaussian<br>Sebagai Semivariogram Teori.....   | 15 |
| Gambar 2.3 | Ilustrasi Estimasi dengan Metode Kriging.....  | 17 |
| Gambar 2.4 | Ilustrasi Garis Bujur dan Lintang di Permukaan<br>Bumi .....   | 26 |
| Gambar 2.5 | Zona Bujur dan Zona Lintang pada Koordinat UTM<br>.....  | 27 |
| Gambar 3.1 | Titik Pengamatan Udara Ambien di Kota Surabaya<br>.....  | 36 |
| Gambar 3.2 | Rangkaian Peralatan Pengambilan Sampel Uji<br>Karbon Monoksida (CO) .....  | 38 |
| Gambar 3.3 | Peta Titik-titik Estimasi Konsentrasi CO di Kota<br>Surabaya.....  | 40 |
| Gambar 3.4 | Diagram Alir Analisis DataMenggunakan Metode<br><i>Universal kriging</i> .....   | 43 |
| Gambar 3.5 | Diagram Alir Analisis DataMenggunakan Metode<br><i>Ordinary kriging</i> .....  | 44 |
| Gambar 4.1 | Plot Normalitas Data Konsentrasi Polutan Karbon<br>Monoksida (CO) .....  | 46 |
| Gambar 4.2 | Plot Sebaran Data Konsentrasi Polutan Karbon<br>Monoksida (CO) .....   | 47 |
| Gambar 4.3 | ScatterPlot Data Konsentrasi CO.....   | 47 |
| Gambar 4.4 | Plot Semivariogram Eksperimental Konsentrasi<br>Karbon Monoksida (CO) dengan Universal Kriging<br>.....  | 49 |
| Gambar 4.5 | (a) Semivariogram Spherical, (b) Semivariogram<br>Exponential, (c) Semivariogram Gaussian, (d )<br>Perbandingan Plot Semivariogram Experimental dan<br>Ke-3 Plot Semivariogram Teoritis dengan Universal<br>Kriging..... | 50 |



|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Gambar 4.6  | <i>Contour Plot</i> Estimasi Karbon Monoksida (CO) dengan Universal Kriging .....   | 51 |
| Gambar 4.7  | Perbandingan Nilai Estimasi dengan Universal Kriging dan Nilai Aktual Konsentrai CO di 20 Titik Pengamatan .....  | 52 |
| Gambar 4.8  | Peta Hasil Estimasi Karbon Monoksida (CO) di 20 Titik Tertentu di Surabaya dengan Universal Kriging .....   | 54 |
| Gambar 4.9  | Plot Semivariogram Eksperimental Konsentrasi Karbon Monoksida (CO) dengan Ordinary Kriging .....  | 56 |
| Gambar 4.10 | (a) Semivariogram Spherical, (b) Semivariogram Exponential, (c) Semivariogram Gaussian, (d) Perbandingan Plot Semivariogram Experimental dan Ke-3 Plot Semivariogram Teoritis dengan Ordinary Kriging ..... | 58 |
| Gambar 4.11 | <i>Contour Plot</i> Estimasi Karbon Monoksida (CO) dengan Ordinary Kriging .....  | 59 |
| Gambar 4.12 | Perbandingan Nilai Estimasi dengan Ordinary Kriging dan Nilai Aktual Konsentrai CO di 20 Titik Pengamatan .....   | 59 |
| Gambar 4.13 | Peta Hasil Estimasi Karbon Monoksida (CO) di 20 Titik Tertentu di Surabaya dengan Ordinary Kriging .....  | 61 |

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Tingkat pencemaran udara di Indonesia semakin lama semakin memprihatinkan. Fakta ini dibuktikan oleh Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas) pada tahun 2009 yang menunjukkan bahwa Indonesia menjadi negara dengan tingkat polusi udara tertinggi ketiga di dunia. Hasil penelitian yang dilakukan oleh United States - Environmental Protection Agency (UNEP US- EPA) dan Kementerian Lingkungan Hidup pada tahun 2010 tersebut mencatat sebesar 57.8% atau setara dengan sekitar lima juta penduduk Indonesia mengalami penyakit akibat polusi udara. Pada skala global, WHO menyebutkan bahwa satu dari delapan kematian di seluruh dunia disebabkan oleh polusi udara (Anonim, 2014).

Pencemaran udara terjadi karena masuk atau dimasukkannya zat, energi dan/atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambien turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya (Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 39 tahun 2008). Udara ambien adalah udara bebas di permukaan bumi pada lapisan troposfir yang dibutuhkan dan mempengaruhi kesehatan manusia, makhluk hidup, dan unsur lingkungan hidup lainnya. Menurut Baku Mutu Udara Ambien (BMUA) Nasional, terdapat 9 jenis polutan umum yaitu: nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ), karbon monoksida ( $\text{CO}$ ), hidrokarbon ( $\text{CH}$ ), sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ), ozon ( $\text{O}_3$ ), partikel yang berukuran  $\leq 10$  mikron ( $\text{PM}_{10}$ ), partikel yang berukuran  $\leq 2.5$  mikron ( $\text{PM}_{2.5}$ ), *Total Suspended Particulate*/debu (TSP), timah hitam (Pb), serta *dustfall* (debu jatuh). Untuk mengetahui apakah suatu udara tercemar atau tidak digunakan suatu standar kualitas udara Baku Mutu Udara Ambien (BMUA) di dalam peraturan pemerintah tentang Pengendalian Pencemaran Udara yang tertuang dalam PP Nomor 41 tahun 1999. Jika konsentrasi suatu polutan dalam udara ambien

melampaui nilai baku mutunya, maka dinyatakan udara telah tercemar.

Surabaya merupakan kota terbesar kedua di Indonesia dengan jumlah penduduk 2.765.487 jiwa pada tahun 2010 (Sensus Penduduk 2010). Menurut *New Jersey Department of Environmental Protection*, salah satu pencemar berbahaya yang memberikan sumbangsih besar dalam pencemaran udara ambien adalah CO. Konsentrasi CO pada Agustus 2009 di Surabaya adalah 10.969 ppm. Baku mutu sesuai Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 10 tahun 2009 untuk CO adalah 20 ppm. Konsentrasi CO di Surabaya masih dalam ambang batas, namun keragaman antar lokasi sangat beragam. Di wilayah tertentu konsentrasi CO hampir mendekati baku mutu, diantaranya: Terminal Joyoboyo mencapai 19.17 ppm dan Terminal Bratang mencapai 16.08 ppm.

CO berasal dari kendaraan bermotor terutama yang menggunakan bahan bakar fosil, kebakaran hutan, badai listrik alam, industri, pembakaran sampah, dan asap rokok. Jika CO terhirup dalam waktu lama akan berdampak negatif bagi kesehatan manusia, antara lain: meningkatkan kadar hemoglobin dalam darah, terganggunya sistem syaraf pusat dan sistem kardiovaskular, serta meningkatkan denyut jantung, bahkan dalam konsentrasi tinggi bisa menyebabkan kematian.

Pengukuran konsentrasi CO di udara menggunakan metode *Non Dispersive Infra Red* (NDIR) yang membutuhkan proses pengukuran yang panjang dan rumit, sehingga kurang efisien jika diperlukan sesegera mungkin. Oleh karena itu diperlukan metode untuk mengestimasi konsentrasi CO yang berbasis interpolasi atau dikenal dengan istilah interpolasi geostatistik karena memerhatikan efek spasial.

Isaaks dan Srivastava (1989) menyebutkan bahwa metode statistik berguna untuk mengembangkan kajian kualitatif pada berbagai fenomena alam dan menjawab permasalahan kuantitatif terhadap permasalahan yang khusus. Namun, pada umumnya metode statistik klasik tidak memanfaatkan informasi spasial dalam kumpulan data ilmu bumi. Geostatistik memberikan

suatu cara untuk menjelaskan kontinuitas spasial yang merupakan unsur penting dalam berbagai fenomena alam dan termasuk juga menggunakan teknik regresi klasik untuk memanfaatkan kontinuitas tersebut.

Beberapa penelitian yang membahas pencemaran udara di Kota Surabaya dengan metode kriging, diantaranya: Putri (2013), Aisyiah (2014). Putri (2013) mengestimasi Nitrogen Dioksida ( $\text{NO}_2$ ) dan Karbon Monoksida (CO) dengan metode interpolasi cokriging. Di samping itu, Putri (2013) menyatakan bahwa karakteristik lokasi dan sumber polutan menyebabkan konsentrasi polutan memiliki perbedaan di setiap lokasinya. Aisyiah (2014) melakukan pemodelan konsentrasi partikel debu ( $\text{PM}_{10}$ ) dengan metode *Geographically-Temporally Weighted Regression* untuk mengakomodasi adanya pengaruh heterogenitas spasial dan temporal pada konsentrasi partikel debu ( $\text{PM}_{10}$ ).

Mengingat sumber pencemar di tiap lokasi berbeda dengan jarak jangkauan yang berbeda pula, sehingga nilai tengah sampel yang diperoleh di tiap lokasi tersebut membentuk *trend* atau *nonstationer*. Disamping itu, hanya tersedia 20 titik tersampel yang belum mencukupi ketersediaan informasi udara ambien pada seluruh titik di kota Surabaya. Oleh karena diperlukan estimasi konsentrasi CO di Kota Surabaya dengan metode *universal kriging*. *Universal kriging* atau *kriging with trend* merupakan salah satu teknik linier *kriging* dan dapat dikatakan hampir sama dengan *ordinary kriging*. Hal yang membedakannya adalah nilai rata-rata populasi diasumsikan mengikuti trend linier berupa koordinat dari variabel sekunder (Bohling, 2005). Metode ini menggabungkan fungsi acak yang ada pada variabel primer dengan fungsi deterministik yang diwakili oleh kombinasi linier.

Mercer, Szpiro, Sheppard, Lindstrom, Adar, dan Allen. (2011) membahas perbandingan antara metode *Universal kriging* dan *Land-use Regression* pada studi kasus konsentrasi mononitrogen oksida yang berpengaruh terhadap penyakit Atherosklerosis di Los Angeles, Amerika Serikat. Pada penelitian ini metode *Universal kriging* memberikan hasil yang lebih baik

daripada *Land-use Regression*. Gundogdu dan Guney (2007) meneliti mengenai penggunaan metode *Universal kriging* dan sejumlah semivariogram pada studi kasus permukaan air tanah di Bursa, Turki. Fokus utama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah mengetahui pengaruh sejumlah semivariogram teori yang dicocokkan dengan semivariogram eksperimental.

Penelitian selanjutnya mengenai *Universal kriging* juga dilakukan oleh Selby dan Kockelman (2011) pada studi kasus sejumlah parameter arus lalu lintas di Texas, Amerika Serikat. Metode ini digunakan karena tidak tersedianya data sejumlah parameter arus lalu lintas pada beberapa daerah di Texas, sehingga metode ini adalah yang paling tepat untuk menjawabnya. Sejumlah parameter lalu lintas perlu untuk diketahui agar dapat dijadikan rujukan keputusan strategis dalam pengaturan lalu lintas di Texas. Laksana (2010) menggunakan metode *Universal kriging* untuk memprediksi porositas sebagai ukuran kandungan air tanah. Penelitian ini lebih banyak membahas mengenai metode *Universal kriging* daripada contoh kasus yang digunakan.

Rafsanjani (2012) juga menggunakan metode *Universal kriging* dalam penelitiannya yang menyimpulkan bahwa Zona 1A dan 1B merupakan target reservoir yang prospektif karena berdasarkan analisis statistika deskriptif dan *Univeral kriging* didapatkan hasil penyebaran porositas dan NTG yang tertinggi jika dibandingkan dengan zona yang lainnya

Pada penelitian ini, setelah dilakukan estimasi parameter akan dibuat *mapping* konsentrasi CO di Kota Surabaya dalam bentuk peta kontur. Dengan diketahuinya konsentrasi pencemar udara di suatu daerah, maka dapat dideteksi apakah suatu daerah masih dalam toleransi atau telah melewati Baku Mutu Udara Ambien. Dengan demikian pemerintah dapat melakukan langkah-langkah preventif serta antisipatif dalam menangani pencemaran udara.

## 1.2 Permasalahan Penelitian

Salah satu polutan berbahaya yang memberikan sumbangsih besar dalam pencemaran udara adalah karbon monoksida (CO). Pengukuran konsentrasi CO di udara dilakukan melalui suatu proses panjang menurut Standar Nasional Indonesia (SNI), sehingga tidak semua wilayah di Surabaya dapat dilakukan pengukuran terhadap polutan tersebut. Oleh karena itu dilakukan estimasi konsentrasi CO dengan *universal kriging*. Berdasarkan uraian tersebut, maka perumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana deskripsi karakteristik kondisi pencemaran udara di Kota Surabaya berdasarkan konsentrasi Karbon Monoksida (CO) dan bagaimana estimasi konsentrasi Karbon Monoksida (CO) pada titik-titik tertentu di Kota Surabaya dengan metode *universal kriging*, serta bagaimana kebaikan metode *universal kriging* apabila dibandingkan dengan metode *ordinary kriging* dengan kriteria MSE.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mendeskripsikan kondisi polutan karbon monoksida (CO) di Kota Surabaya.
2. Mengetahui estimasi konsentrasi CO pada titik-titik tertentu di Kota Surabaya dengan metode *universal kriging*.
3. Mengetahui kebaikan hasil estimasi CO dengan metode *universal kriging* dan *ordinary kriging* dengan kriteria MSE.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Sebagai sumber informasi bagi Pemerintah Kota Surabaya tentang seberapa tercemar udara akibat tingginya konsentrasi CO di Kota Surabaya, sehingga dapat diambil langkah antisipatif untuk mengurangi tingkat pencemaran udara.
2. Dapat menambah pengetahuan tentang salah satu metode interpolasi yang memperhitungkan pengaruh spasial, yaitu

metode *universal kriging* dalam studi kasus pencemaran udara di Kota Surabaya.

### **1.5 Batasan Permasalahan**

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data konsentrasi gas pencemar udara Karbon Monoksida (CO), dimana 10 titik tersampel diperoleh dari Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan dan Pengendalian Penyakit Menular (BBTKL-PPM) Kota Surabaya dan 10 titik tersampel lainnya diperoleh dari hasil penelitian (Putri, 2013) tentang estimasi konsentrasi Nitrogen Dioksida (NO<sub>2</sub>) dan Karbon Monoksida (CO) di udara Surabaya menggunakan Cokriging. Titik pengamatan yang digunakan merupakan tempat yang berpotensi tinggi terjadi pencemaran akibat gas buang kendaraan bermotor.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Pembahasan pada bagian ini meliputi; statistika deskriptif, data spasial, stasioneritas, konsep dasar variabel terregionalisasi dan variogram yang terdiri atas variogram eksperimental dan variogram teoretis isotropi dan anisotropi. Di samping itu dibahas pula metode kriging, *universal kriging*, *ordinary kriging*, koordinat UTM dan pencemaran udara serta penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya terkait metode *universal kriging* dan pencemaran udara.

#### **2.1 Statistika Deskriptif**

Statistika deskriptif adalah suatu metode yang berkaitan dengan pengumpulan dan penyajian suatu gugus data, sehingga memberikan informasi yang berguna. Statistika deskriptif sering disebut sebagai Statistika deduktif yang membahas tentang bagaimana merangkum data dalam bentuk yang mudah dibaca dan cepat memberikan informasi, yang disajikan dalam bentuk tabel, grafik, nilai pemusatan data dan nilai penyebaran data (Walpole, 1995).

Dalam mengambil data, sangat kecil kemungkinan untuk memperoleh seluruh data dari populasi. Bahkan dalam beberapa kasus, pengambilan data keseluruhan dapat merusak populasi tersebut (misalnya mencicipi rasa masakan). Sebagai solusinya, dilakukan pengambilan sampel yang diharapkan dapat mewakili parameter dari populasi tersebut. Parameter yang biasa digunakan adalah rata-rata dan ragam.

Dalam statistika klasik, pengambilan data selalu mengasumsikan bahwa kejadian yang diamati diambil berdasarkan kondisi yang sama dan saling bebas satu dengan yang lain. Data berbentuk sampel acak, berdistribusi saling bebas dan identik (*independent identically distributed*). Pada kenyataannya, kejadian yang diamati tidak selalu memenuhi



asumsi tersebut, misalnya pada kasus data spasial, maka statistika klasik tidak dapat digunakan.

## 2.2 Data Spasial

Data spasial merupakan data yang disajikan dalam posisi geografis dari suatu obyek yang berkaitan dengan lokasi, bentuk dan hubungan dengan ruang bumi. Penyajian data geografis dilakukan dengan menggunakan titik, garis, dan luasan. Data spasial berupa data diskret atau kontinu dan dapat juga memiliki lokasi spasial beraturan (*regular*) maupun tak beraturan (*irregular*). Data spasial dikatakan mempunyai lokasi yang *regular* jika antara lokasi yang saling berdekatan satu sama lain mempunyai posisi yang beraturan dengan jarak yang sama besar. Sedangkan dikatakan *irregular* ketika lokasi yang saling berdekatan satu dengan yang lain mempunyai posisi yang tidak beraturan dengan jarak yang berbeda (Alfiana, 2010).

Salah satu yang membedakan studi kasus spasial dengan studi lainnya yaitu data spasial memiliki kaitan dengan data lainnya pada suatu ruang atau daerah tertentu. Ciri data spasial seperti lokasi nilai ekstrem, *trend* keseluruhan atau derajat kontinuitas memberikan daya tarik yang besar untuk diteliti. Ciri spasial tidak dapat seluruhnya ditangkap oleh metode deskriptif *univariate* ataupun *bivariate* klasik namun dapat dilihat melalui visualisasi. Beberapa contoh visualisasi yaitu data *postings*, peta kontur, peta simbol, peta indikator, *moving window statistics* dan yang lainnya (Isaaks & Srivastava, 1989).

Menurut Wackernagel (1995) secara umum data spasial dalam penelitian ini dapat ditunjukkan persamaan (2.1) berikut.

$$\begin{bmatrix} x_1^1 & x_1^2 & x_1^3 & z_1^1 & z_1^2 & \cdots & z_1^N \\ x_2^1 & x_2^2 & x_2^3 & z_2^1 & z_2^2 & \cdots & z_2^N \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ x_n^1 & x_n^2 & x_n^3 & z_n^1 & z_n^2 & \cdots & z_n^N \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

dengan :

$x_i$  = koordinat data observasi ;  $i = 1, 2, \dots, n$

$z_i$  = parameter data observasi ;  $i = 1, 2, \dots, n$

$x^1$  = absis

$x^2$  = ordinat

$x^3$  = elevasi

$z^j$  = Parameter yang terdapat pada observasi tertentu  
;  $j = 1, 2, \dots, N$

### 2.3 Pengujian Distribusi Data

Suatu data harus berdistribusi normal agar bisa dianalisis, sehingga diperlukan uji kenormalan suatu data. Untuk menguji kenormalan suatu data dapat dilakukan dengan menggunakan tiga macam uji, yaitu uji *Anderson-Darling*, uji normalitas *Ryan-Joiner*, dan uji *Kolmogorov-Smirnov*. Namun jika data yang digunakan kurang dari 25, maka uji normalitas yang digunakan adalah uji *Anderson-Darling*. Berikut adalah hipotesis, statistik uji, dan daerah penolakannya.

$H_0$  : Data mengikuti sebaran tertentu

$H_1$  : data tidak mengikuti sebaran tertentu

Statistik uji :

$$A^2 = -N - S$$

Dimana ;

$$S = \sum_{i=1}^N \frac{(2i-1)}{N} [\log F(Y_i) + \log(1 - F(Y_{N+1-i}))]$$

$F$  merupakan fungsi komulatif distribusi (CDF) dari distribusi tertentu,  $N$  merupakan banyaknya data, dan  $Y_i$  merupakan *ordered* data dengan *significance* level adalah  $\alpha$ . Daerah kritis yang digunakan adalah nilai kritis dari uji *Anderson Darling* distribusi yang akan diuji. Secara statistik, keputusan menolak  $H_0$  apabila  $A$  lebih besar dari nilai kritis yang telah ditentukan.

## 2.4 Stasioneritas

Suatu data dikatakan memiliki sifat *non-stasioner* jika data tersebut memiliki kecenderungan terhadap tren tertentu. Atau dengan kata lain, apabila fluktuasi data tidak berada disekitar suatu nilai rata-rata yang konstan, tidak tergantung pada waktu dan variansi dari fluktuasi tersebut. Menurut Cressie (1993) dalam Laksana (2010) terdapat tiga jenis stasioneritas pada geostatistika yaitu *strictly stationerity*, *second-order stationerity* dan *intrinsic stationarity* (Laksana, 2010). *Strictly stationerity* adalah apabila fungsi random memiliki fungsi distribusi kumulatif yang ditunjukkan oleh persamaan (2.2) sebagai berikut.

$$F(z(u_1), z(u_2), \dots, z(u_n)) = F(z(u_1 + h), z(u_2 + h), \dots, z(u_n + h)) \quad (2.2)$$

dengan :

$h$  = Jarak

$z(u_i)$  = Nilai pengamatandi titik  $u_i$ ; dimana  $i = 1, 2, \dots, n$

$z(u_i + h)$  = Nilai pengamatan di titik  $u_i + h$ ; dimana  
 $i = 1, 2, \dots, n$

*Second-order stationerity* dapat didefinisikan oleh persamaan (2.3) sebagai berikut,

$$E(z(u)) = E(z(u + h)) = \mu \quad (2.3)$$

Jika diperhatikan persamaan (2.4) sebagai berikut,

$$Cov(z(x), z(x + h)) = E([z(x) - \mu][z(x + h) - \mu]) \quad (2.4)$$

Maka didapatkan persamaan (2.5):

$$Cov(z(x), z(x + h)) = C(h) \quad (2.5)$$

dengan :

$\mu$  = Nilai rata-rata

$z(u)$  = Nilai pengamatan di titik  $u$

$z(u + h)$  = Nilai pengamatan di titik  $u + h$

$C(h)$  = Fungsi kovarians antara pengamatan tertentu dengan pengamatan lain yang dipisahkan oleh jarak  $h$

Berdasarkan persamaan (2.3) dan (2.5) dapat dilihat bahwa nilai rata-rata pada titik  $u$  titik  $u + h$  dan titik lainnya pada lokasi tersebut memiliki nilai yang sama. Hal ini menunjukkan variabel *random* tersebut memiliki distribusi probabilitas bersama yang hanya dipengaruhi oleh jarak namun tidak berkaitan dengan variabel *random* lainnya (Isaaks & Srivastava, 1989). Sifat *intrinsic stationarity* dapat ditunjukkan oleh persamaan (2.6) sebagai berikut.

$$E(z(u + h) - z(u)) = 0 \quad (2.6)$$

dengan :

$z(u)$  = Nilai pengamatandi titik  $u$

$z(u + h)$  = Nilai pengamatan di titik  $u + h$

Sifat *second-order stationerity* digunakan dalam penghitungan kovarians secara umum sedangkan sifat *intrinsic stationarity* digunakan pada penghitungan semivariogram secara umum.

## 2.5 Kovarians

Salah satu cara untuk mengukur penyebaran data adalah dengan mengalikan residual suatu variabel dengan variabel lainnya. Nilai rata-rata dari perkalian ini disebut kovarians yang tercantum pada persamaan (2.7) sebagai berikut.

$$\text{cov}[z(u), z(u + h)] = E[z(u), z(u + h)] - E[z(u)]^2 \quad (2.7)$$

dengan :

$z(u)$  = Nilai pengamatandi titik  $u$

$z(u + h)$  = Nilai pengamatan di titik  $u + h$

Jika nilai residual dari  $z(u)$  cenderung memiliki tanda yang sama dengan  $z(u + h)$  maka nilai kovarians akan bernilai positif. Sedangkan jika kedua variabel tersebut memiliki tanda yang berlawanan maka kovarians akan bernilai negatif. Sehingga arah dari hubungan antar nilai pengamatan tersebut dapat dilihat berdasarkan tanda dari kovarians dan kekuatan hubungan dapat dilihat berdasarkan nilai dari kovarians tersebut. Standarisasi

masing-masing nilai pengamatan dapat dilakukan jika terdapat perbedaan besaran pengukuran (Wackernagel, 1995).

## 2.6 Variabel Teregionalisasi

Misal terdapat satu karakteristik (variabel) yang diukur pada lokasi yang berbeda dan waktu pengukuran diabaikan. Ada  $n$  observasi yang disimbolkan oleh persamaan (2.8) sebagai berikut.

$$z(x_\alpha), \text{ di mana } \alpha = 1, 2, \dots, n \quad (2.8)$$

Obyek yang diukur pada region  $D$  dianggap bagian dari kumpulan obyek yang lebih besar. Jika obyek yang diamati berupa titik, sangat banyak observasi yang mungkin dalam wilayah. Kemungkinan lebih banyak observasi pada daerah yang sama dibedakan dengan memberi indeks  $\alpha$  dan variabel teregionalisasi didefinisikan oleh persamaan (2.9) sebagai berikut.

$$z(x) \text{ dengan } x \in D \quad (2.9)$$

Kelompok data  $\{z(x_\alpha), \alpha = 1, 2, \dots, n\}$  adalah kumpulan dari sedikit nilai dalam variabel teregionalisasi.

## 2.7 Semivariogram Eksperimental dan Teori

Berdasarkan Munadi (2005) dalam Alfiana (2010). suatu perangkat dasar geostatistika untuk visualisasi, pemodelan dan eksploitasi autokorelasi spasial variabel regionalisasi biasa dikenal sebagai semivariogram. Semivariogram adalah setengah dari variogram dengan simbol  $\gamma$ . Semivariogram digunakan untuk menentukan jarak dimana nilai-nilai data pengamatan menjadi tidak saling bergantung atau tidak ada korelasinya (Alfiana, 2010).

Semivariogram eksperimental merupakan semivariogram yang didapatkan berdasarkan nilai pengamatan dan dihitung menggunakan penghitungan yang ditunjukkan oleh persamaan (2.10) sebagai berikut (Isaaks & Srivastava, 1989).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(u_i + h) - z(u_i)]^2 \quad (2.10)$$

dengan :

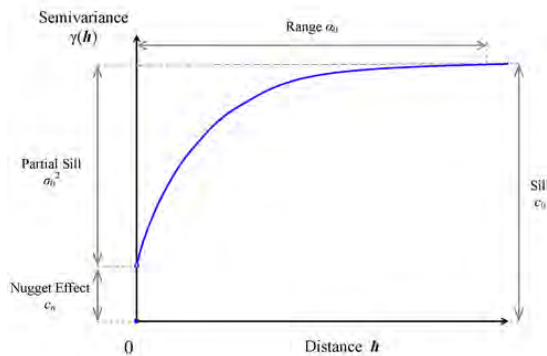
$\gamma(h)$  = Nilai semivariogram antara titik  $u_i$  dengan titik  $u_i + h$

$z(u_i + h)$  = Nilai pengamatan di titik  $u_i + h$

$z(u_i)$  = Nilai pengamatan di titik  $u_i$

$N(h)$  = Banyaknya pasangan titik yang mempunyai jarak  $h$

Pada Gambar 2.1 dapat dilihat masing-masing properti dari semivariogram. *Nugget effect* adalah intersep antara semivariogram dengan sumbu vertikal. *Nugget effect* dapat dipengaruhi oleh alat pengukur yang tidak akurat ataupun jarak yang diambil antar pasangan pengamatan tidak tepat. *Sill* merupakan nilai dari  $\gamma(h)$  ketika semivariogram mencapai kondisi konvergen. Semakin tinggi nilai *sill* maka varians dari estimasi akan semakin besar. Indikasi kondisi spasial juga dapat dilihat berdasarkan rasio antara *sill* dan *nugget effect*. Jika rasio mendekati nilai satu maka dapat dikatakan bahwa pengamatan tersebut tidak memiliki dependensi antar ruang/jarak tertentu.



**Gambar 2.1** Semivariogram Eksperimental

Semivariogram untuk *universal kriging* dapat didefinisikan seperti yang ditunjukkan pada persamaan (2.11). Hal ini terjadi karena semivariogram untuk *universal kriging* tidak

menggunakan persamaan (2.3) dan (2.5) dalam penghitungannya. Persamaan tersebut menggunakan sifat *intrinsic stationarity*.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(u_i + h) - \mu(u_i + h) - z(u_i) + \mu(u_i)]^2 \quad (2.11)$$

dengan :

$\gamma(h)$  = Nilai semivariogram antara titik  $u_i$  dengan titik  $u_i + h$

$z(u_i + h)$  = Nilai pengamatan di titik  $u_i + h$

$z(u_i)$  = Nilai pengamatan di titik  $u_i$

$\mu(u_i + h)$  = Nilai rata-rata di titik  $u_i + h$

$\mu(u_i)$  = Nilai rata-rata di titik  $u_i$

$N(h)$  = Banyaknya pasangan titik yang mempunyai jarak  $h$

Berdasarkan semivariogram eksperimental maka akan dicocokkan dengan model semivariogram teori dan pada umumnya model semivariogram teori yang digunakan adalah model linear. Beberapa contoh semivariogram eksperimental adalah model *spherical*, *exponential*, dan *Gaussian* (Wackernagel, 1995). Model *Spherical* ditunjukkan oleh persamaan (2.12) sebagai berikut.

$$\gamma(h) = \begin{cases} C \left[ 1 - \left( \frac{3h}{2r} \right) + \left( \frac{h}{2r} \right)^3 \right]; h \leq r \\ C; h > r \end{cases} \quad (2.12)$$

dengan :

$h$  = Jarak lokasi antar sampel

$C$  = *Sill*, yaitu nilai semivariogram untuk jarak pada saat besarnya

konstan

$r$  = *range*, yaitu jarak pada saat nilai semivariogram mencapai *sill*

Pada model *exponential* terjadi peningkatan dalam semivariogram yang sangat curam dan mencapai nilai *sill* secara asimtotik dan ditunjukkan oleh persamaan (2.13) sebagai berikut.

$$\gamma(h) = C \left[ \exp \left( -\frac{3h}{r} \right) \right] \quad (2.13)$$

dengan :

$h$  = Jarak lokasi antar sampel

$C$  = *Sill*, yaitu nilai semivariogram untuk jarak pada saat besarnya konstan

$r$  = *range*, yaitu jarak pada saat nilai semivariogram mencapai *sill*

Model *gaussian* merupakan bentuk kuadrat dari *exponential* sehingga menghasilkan bentuk parabolik pada jarak yang dekat dan dapat dirumuskan oleh persamaan (2.14) sebagai berikut.

$$\gamma(h) = C \left[ \exp \left( -\frac{3h}{r} \right)^2 \right] \quad (2.14)$$

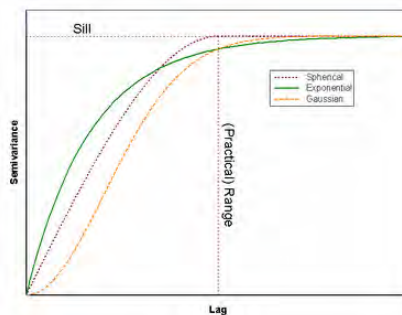
dengan :

$h$  = Jarak lokasi antar sampel

$C$  = *Sill*, yaitu nilai semivariogram untuk jarak pada saat besarnya konstan

$r$  = *range*, yaitu jarak pada saat nilai semivariogram mencapai *sill*

Grafik ketiga model semivariogram teori tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.2 sebagai berikut.



**Gambar 2.2** Grafik Model Spherical, Exponential dan Gaussian Sebagai Semivariogram Teori

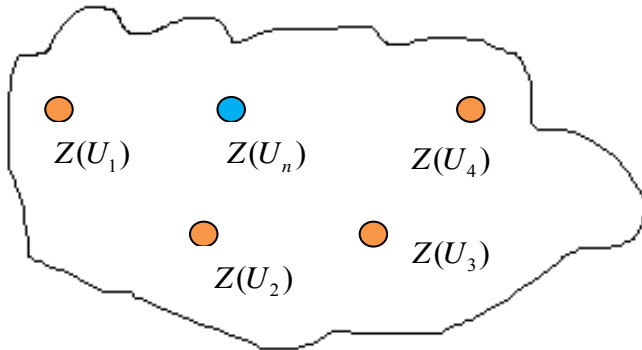


Perhitungan eksperimental semivariogram juga dipengaruhi oleh perbedaan arah yang disebut dengan *anisotropic*. Arah dari *anisotropic* diartikan sebagai derajat pergeseran dari sumbu utara sehingga arah ini dapat digunakan sebagai sumbu axis utama (Majani, 2007). Fenomena yang terjadi pada kebumian seringkali merupakan kasus *anisotropic* sehingga diperlukan pengetahuan tambahan untuk mengetahui arah yang tepat agar didapatkan perhitungan eksperimental semivariogram yang mewakili nilai pengamatan (Wackernagel, 1995).

## 2.8 Metode Kriging

Menurut Matheron (1963) seperti yang diungkapkan Warmada (2001). Geostatistik adalah ilmu yang khusus mempelajari distribusi dalam ruang yang sangat berguna untuk insinyur tambang dan ahli geologi seperti ketebalan, akumulasi dan termasuk semua aplikasi praktis untuk masalah-masalah yang muncul di dalam evaluasi endapan bijih. Geostatistika merupakan aplikasi ilmu Statistika yang sangat berkembang dan berasal dari industri pertambangan. Ilmu ini pertama kali muncul pada awal tahun 1950 di Afrika Selatan oleh seorang Insinyur yang bernama DG Krige dan HS Sichel yang mempunyai latar belakang statistisi. Selanjutnya konsep ini dikembangkan oleh seorang Insinyur berkebangsaan Perancis yang bernama Georges Matheron. Pada perkembangan saat ini, Geostatistika menggabungkan banyak metode, teori dan teknik agar mampu menyelesaikan permasalahan-permasalahan dalam konteks spasial (Wackernagel, 1995).

Kriging adalah metode geostatistika yang digunakan untuk mengestimasi atribut di sebuah titik sebagai kombinasi linear dari nilai sampel yang terdapat di sekitar titik yang akan diestimasi. Ilustrasi metode kriging untuk mengestimasi nilai di suatu titik disajikan pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.3** Ilustrasi Estimasi dengan Metode Kriging

$Z(U_1)$ ,  $Z(U_2)$ ,  $Z(U_3)$ , dan  $Z(U_4)$  pada Gambar 2.3 adalah titik-titik yang telah diketahui suatu atributnya (dalam penelitian ini mengambil kasus konsentrasi pencemar), dan  $Z(U_n)$  adalah titik yang belum dilakukan pengukuran dan akan diestimasi berdasarkan keempat titik yang lain. Langkah selanjutnya adalah menentukan bobot dari kriging yang diperoleh dari hasil variansi estimasi minimum dengan memperluas penggunaan semivariogram. Estimasi kriging dapat diartikan sebagai variabel tidak bias dan penjumlahan dari keseluruhan bobot adalah satu. Bobot inilah yang dipakai untuk mengestimasi konsentrasi polutan di titik yang belum dilakukan pengukuran. Kriging memberikan lebih banyak bobot pada sampel dengan jarak terdekat dibandingkan dengan sampel dengan jarak lebih jauh (Ayuni, 2011).

Estimasi dari titik yang tidak tersampel menggunakan kombinasi linear terboboti dari titik-titik tersampel ditunjukkan oleh persamaan (2.15) sebagai berikut:

$$\hat{v} = \sum_{j=1}^n w_j v \quad (2.15)$$

$\hat{v}$  adalah estimasi variabel  $V$  pada lokasi  $x_0$ ;  $w_j$  adalah bobot dari kriging;  $v$  adalah data pada lokasi yang telah dilakukan pengukuran. Kesalahan estimasi kriging dirumuskan oleh persamaan (2.16) sebagai berikut:

$$R = \hat{v} - v_0 = \sum_{i=1}^n w_i V_i - V_0 \quad (2.16)$$

Nilai error diharapkan sama dengan 0, sehingga persamaan (2.16) menjadi:

$$E(R) = E\left(\sum_{i=1}^n w_i V_i - V_0\right) \quad (2.17)$$

$$0 = E\left(\sum_{i=1}^n w_i V_i\right) - E(V_0)$$

$$0 = E(V) \sum_{i=1}^n w_i - E(V)$$

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

Varians error dari kriging adalah:

$$\sigma_R^2 = \sigma^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i w_j C_{ij} - 2 \sum_{i=1}^n w_i C_{i0} \quad (2.18)$$

Dengan memanfaatkan *Lagrange Multiplier* untuk meminimumkan varians error pada persamaan (2.18), didapatkan:

$$\sum_{i=1}^n w_i C_{ij} + \mu = C_{i0} \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (2.19)$$

Persamaan (2.19) ditulis dalam bentuk matriks yang ditunjukkan oleh persamaan (2.20) berikut:

$$C \cdot w = D$$

$$\begin{bmatrix} C_{i1} & \cdots & C_{in} & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ C_{n1} & \cdots & C_{nn} & 1 \\ 1 & \cdots & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_n \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{i0} \\ \vdots \\ C_{n0} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

Sehingga untuk mencari pembobot  $w$  adalah dengan persamaan (2.21) sebagai berikut:

$$w = C^{-1} \cdot D \quad (2.21)$$

## 2.9 Metode Universal Kriging

*Universal kriging* adalah bentuk umum dari *simple kriging* sebagai salah satu cara perluasan dari metode *ordinary kriging*. *Universal kriging* merupakan *kriging* dari data yang mempunyai kecenderungan tren tertentu. Metode ini tepat jika digunakan pada nilai-nilai di titik sampel yang memang mempunyai kecenderungan tertentu. Misalnya tebal lapisan bertambah dengan berubahnya arah atau nilai permeabilitas yang berkurang dengan menjauhnya lokasi dari *channel sand*.

Dengan menganggap bahwa  $z(u_i)$  merupakan  $k$  bagian variabel random dari ruang lingkup  $d \supset D$  sebagai daerah spasialnya, estimator *universal kriging*  $\hat{z}(u_0)$  untuk fungsi random  $z(u_i)$  ditunjukkan oleh persamaan (2.22) sebagai berikut.

$$\hat{z}(u_0) = \sum_{i=1}^k w_i z(u_i) \quad (2.22)$$

Dengan asumsi bahwa  $E[z(u)]$  dan  $\text{var}[z(u)]$  ada, model  $z(u)$  dapat dinyatakan oleh persamaan (2.23) sebagai berikut:

$$z(u) = m(u) + \varepsilon u \quad (2.23)$$

$m(u)$  merupakan persamaan dari *trend (drift)*, hasil kombinasi linier dengan koefisien yang tidak nol, dengan

$E[z(u)] = m(u)$   $E[z(u)]$  adalah nilai ekspektasi dari  $z(u)$ .

Untuk *trend (drift)* dari model polinomial  $f_1(u)$  disajikan dalam persamaan (2.24) sebagai berikut:

$$m(u) = \sum_{l=0}^n \alpha_l f_l(u) \quad (2.24)$$

dimana  $f_0(u) = 1$  dan  $\varepsilon(u)$  merupakan error yang memenuhi sifat *intrinsic stationarity* dengan  $E[\varepsilon(u)] = 0$

dimana :

$\alpha_l$  = koefisien tren

$f_l(u)$  = koordinat lokasi

$n$  = banyaknya orde dalam persamaan tren

Ricardo (1999) menyatakan bahwa estimator  $\hat{z}(u_0)$  adalah sebagai estimator tak bias, jika dan hanya jika :

$$\sum_{i=1}^k w_i f_l(u_i) = f_l(u_0) \quad (2.25)$$

persamaan (2.25) di atas sering disebut *universality condition* untuk  $l = 1, 2, \dots, n$ .

Jika persamaan (2.25) tersebut dikalikan dengan  $\alpha_l$  maka akan diberikan  $n + 1$  persamaan, yaitu:

$$\sum_{l=0}^n \alpha_l \sum_{i=1}^k w_i f_l(u_i) = \sum_{l=0}^n \alpha_l f_l(u_0) \quad (2.26)$$

Menurut Lemma 6.1 pada (Ricardo, 1999), persamaan (2.26) sebelah kiri merupakan jumlahan ganda yang akan bernilai sama dengan nilai ekspektasi dari  $\hat{z}(u)$ . Sedangkan pada

persamaan sebelah kanan akan bernilai sama dengan  $m(u)$ , dan  $m(u) = E[z(u)]$ .

Jadi persamaan (2.26) akan menjadi:

$$E[\hat{z}(u) - z(u)] = 0 \quad (2.27)$$

dari persamaan (2.27) di atas akan didapatkan

$\hat{z}(u) = m = z(u)$ , maka dapat dikatakan bahwa estimator dari *universal kriging* adalah estimator tak bias (*unbiased*). Selanjutnya dalam *universal kriging*, fungsi tren yang pertama  $f_0(u)$  bernilai konstan, dengan  $f_0(u) = 1$  sehingga berdasarkan *universality condition* diperoleh persamaan (2.28) sebagai berikut.

$$\sum_{i=1}^k w_i = 1 \quad (2.28)$$

dalam *universal kriging*, penyamaan dengan nilai 1 diperlukan dalam kondisi untuk mendapatkan estimator tak bias.

### Contoh Kasus :

#### Proses Penghitungan Konsentrasi CO

Berikut akan diuraikan mengenai penghitungan manual estimasi konsentrasi CO menggunakan metode *universal kriging*. Misal terdapat nilai konsentrasi CO pada titik 1, 2, dan 3 berturut-turut adalah 4.17, 5.86 dan 7.89. Data koordinat masing-masing lokasi serta satu titik (x) yang ingin diketahui nilai konsentrasinya ditunjukkan oleh Tabel 1 sebagai berikut.

**Tabel 1** Koordinat Lokasi dan Titik Analisis

| Lokasi/Titik   | Absis   | Ordinat |
|----------------|---------|---------|
| x              | 9196527 | 693406  |
| <b>Titik 1</b> | 9189279 | 695237  |
| <b>Titik 2</b> | 9196489 | 693937  |
| <b>Titik 3</b> | 9196438 | 693340  |

Nilai koordinat lokasi pada Tabel 1 beserta nilai konsentrasi digunakan untuk menghitung parameter deterministik *universal*

*kriging*. Parameter deterministik didapatkan melalui persamaan sebagai berikut.

$$B = (X^T \cdot X)^{-1} \cdot X^T \cdot Y$$

Matriks  $X$  merupakan matriks yang berisikan koordinat dari lokasi. Vektor  $Y$  merupakan vektor dengan nilai dari konsentrasi masing-masing lokasi. Nilai dari kedua matriks tersebut dapat dilihat sebagai berikut.

$$X = \begin{pmatrix} 1 & 9189279 & 695237 \\ 1 & 9196489 & 693937 \\ 1 & 9196438 & 693340 \end{pmatrix}; Y = \begin{pmatrix} 4.17 \\ 5.86 \\ 7.89 \end{pmatrix}$$

Melalui matriks dan persamaan deterministik yang telah didefinisikan maka didapatkan parameter deterministik sebagai berikut.

$$B = \begin{pmatrix} 5773.2597 \\ -0.0003730 \\ -0.0033685 \end{pmatrix}$$

Berdasarkan parameter deterministik tersebut maka akan dilakukan penghitungan nilai  $z(u_i)$ . Nilai ini merupakan nilai konsentrasi yang telah dipengaruhi oleh komponen prediktor deterministik yaitu koordinat *trend facies* seperti yang tertera pada matriks  $X$ . Penghitungan nilai  $z(u_i)$  dengan cara mengalikan matriks  $X$  dengan parameter deterministik. Penghitungan dan nilai  $z(u_i)$  dapat dilihat sebagai berikut.

$$Z = X \cdot B = \begin{pmatrix} 4.1699999 \\ 5.8599999 \\ 7.8899999 \end{pmatrix}$$

Setelah didapatkan nilai  $z(u_i)$  maka langkah selanjutnya adalah menghitung nilai pembobot atau  $w_i$ . Nilai pembobot ini merupakan pembobot BLUE (*Best Linier Unbiased Estimation*). Maka dari itu melalui sifat *Best* maka didapatkan nilai pembobot melalui perkalian matriks sebagai berikut.

$$w = C^{-1} \cdot D$$

Matriks  $C$  merupakan matriks yang berisikan semivariogram teoritis konsentrasi CO pada Tabel 1 antara lokasi-lokasi yang telah diketahui nilai konsentrasinya. Sedangkan matriks  $D$  memuat nilai semivariogram teoritis konsentrasi CO pada Tabel 1 antara titik x dengan masing-masing lokasi. Kedua matriks tersebut dapat didefinisikan sebagai berikut.

$$C = \begin{pmatrix} \gamma(T_1, T_1) & \gamma(T_1, T_2) & \gamma(T_1, T_3) & 1 \\ \gamma(T_2, T_1) & \gamma(T_2, T_2) & \gamma(T_2, T_3) & 1 \\ \gamma(T_3, T_1) & \gamma(T_3, T_2) & \gamma(T_3, T_3) & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}; D = \begin{pmatrix} \gamma(u_0, T_1) \\ \gamma(u_0, T_2) \\ \gamma(u_0, T_3) \\ 1 \end{pmatrix}$$

Penghitungan matriks  $C$  dan  $D$  membutuhkan data jarak antara masing-masing lokasi dan titik x seperti yang tercantum pada Tabel 2 sebagai berikut.

**Tabel 2** Data Jarak Antara Lokasi dan Titik x

| Lokasi/Titik | X        | Titik 1  | Titik 2  | Titik 3  |
|--------------|----------|----------|----------|----------|
| X            | 0        | 110.8016 | 540.7772 | 803.7296 |
| Titik 1      | 110.8016 | 0        | 1        | 823.7096 |
| Titik 2      | 540.7772 | 1        | 0        | 824      |
| Titik 3      | 803.7296 | 823.7096 | 824      | 0        |

Misalsemivariogram teoritis yang digunakan adalah sebagai berikut.



$$\gamma(h) = c \left( \left( \frac{3h}{2r} \right) - \left( \frac{h}{2r} \right)^3 \right), h \leq r$$

$$\gamma(h) = c, h > r$$

$$\gamma(h) = 10.487 \left( \left( \frac{3h}{2 \times 1116.127} \right) - \left( \frac{h}{2 \times 1116.127} \right)^3 \right)$$

Nilai jarak yang terdapat pada Tabel 2 digunakan untuk mengganti nilai  $h$  pada semivariogram teoritis sesuai dengan masing-masing *cell* matriks  $C$ . Setelah masing-masing *cell* dilakukan penghitungan maka didapatkan matriks  $C$  dan  $D$  sebagai berikut.

$$C = \begin{pmatrix} 10.4871 & 0.0141 & 11.6093 & 1 \\ 0.0141 & 10.4871 & 11.6134 & 1 \\ 11.6093 & 11.6134 & 10.4871 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}; D = \begin{pmatrix} 1.5616 \\ 7.6217 \\ 11.3277 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Berdasarkan penghitungan nilai pembobot maka didapatkan nilai  $w_i$  sebagai berikut.

$$\begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ \mu \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.2357 \\ 0.8143 \\ -0.0499 \\ -0.3410 \end{pmatrix}$$

Nilai  $w_1, w_2$  dan  $w_3$  merupakan nilai pembobot untuk masing-masing nilai  $z(u_1), z(u_2)$  dan  $z(u_3)$ . Sedangkan nilai  $\mu$  merupakan nilai parameter *Lagrange* yang digunakan untuk

membuktikan sifat *Best*. Setelah nilai  $w_i$  dan  $z(u_i)$  diketahui maka nilai konsentrasi pada titik  $x$  adalah sebesar 5.3609 melalui estimator *universal kriging* sebagai berikut.

$$\hat{z}(u_0) = \sum_{i=1}^k w_i z(u_i)$$

$$\hat{z}(u_0) = (0.2357 \times 4.17) + (0.8143 \times 5.86) + (-0.0499 \times 7.89)$$

$$\hat{z}(u_0) = 5.3609$$

## 2.10 Metode Ordinary Kriging

Metode *ordinary kriging* adalah metode kriging paling sederhana yang terdapat pada geostatistika. Pada metode ini, memiliki asumsi bahwa rata-rata (mean) tidak diketahui dan bernilai konstan. Pada *ordinary kriging*,  $m(u)$  merupakan *mean* dari  $Z(u)$  yaitu  $m(u) = E(Z(u))$  dimana  $E(Z(u)) = \mu$ . Pada Cressie (1993) dijelaskan bahwa *ordinary kriging* berhubungan dengan prediksi spasial dengan dua asumsi :

a. Asumsi Model:

$$Z(u) = \mu + \delta(u), u \in D, \mu \in R \text{ dan } \mu \text{ tidak diketahui} \quad (2.29)$$

b. Asumsi Prediksi:

$$\hat{Z}(u) = \sum_{\alpha=1}^n w_{\alpha} Z(u_{\alpha}) \text{ dengan } \sum_{\alpha=1}^n w_{\alpha} = 1 \quad (2.30)$$

dengan :

$\delta(u)$  = Nilai error pada  $Z(u)$

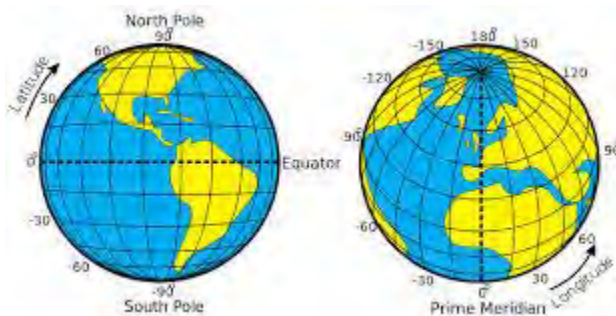
$N$  = Banyaknya data sampel untuk estimasi

## 2.11 Koordinat Universal Teansverse Mercator (UTM)

Untuk menyatakan suatu lokasi di permukaan bumi dapat menggunakan sistem koordinat. Sistem koordinat yang biasa

digunakan di Indonesia adalah koordinat bujur lintang dan koordinat Universal Transverse Mercator (UTM). Alasan penggunaan dua sistem koordinat untuk menyatakan suatu tempat yang sama di permukaan bumi yaitu adanya suatu wilayah yang mempunyai garis lintang yang jauh lebih pendek daripada garis lintang di wilayah yang lain. Garis lintang yang lebih pendek terdapat di daerah yang berdekatan dengan kutub, sedangkan di ekuator mempunyai garis lintang terpanjang.

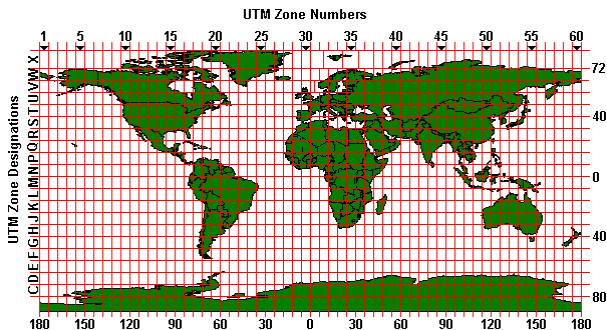
Sistem koordinat bujur lintang menggunakan garis imaji-ner untuk membagi bumi menjadi bagian-bagian. Garis horizontal yang mengelilingi bumi disebut garis lintang (*latitude*) dan garis vertikal yang menghubungkan kutub utara dengan kutub selatan bumi disebut garis bujur (*longitude*).



**Gambar 2.4** Ilustrasi Garis Bujur dan Lintang di Permukaan Bumi

Garis lintang  $0^\circ$  merupakan garis lintang yang membagi bumi menjadi bagian utara dan selatan sama besar disebut garis khatulistiwa. Koordinat yang berada di utara khatulistiwa disebut dengan Lintang Utara (LU) dan koordinat di sebelah selatan khatulistiwa disebut Lintang Selatan (LS). Garis bujur  $0^\circ$  melintasi kota Greenwich, Inggris disebut *prime meridian*. Koordinat di sebelah barat prime meridian disebut Bujur Timur (BT), demikian pula yang terletak di sebelah barat *prime meridian* disebut Bujur Barat (BB).

Sistem koordinat UTM membagi seluruh wilayah di permukaan bumi menjadi 60 zona bujur dan 20 zona lintang. Zona bujur 1 dimulai dari Samudera Pasifik (pertemuan antara garis  $180^\circ$  BB dan  $180^\circ$  BT), menuju ke timur dan berakhir di tempat berawalnya zona 1. Masing-masing zona bujur mempunyai lebar  $6^\circ$  atau sekitar 667 km. Sedangkan zona lintang mempunyai lebar  $8^\circ$ , dimulai dari  $80^\circ$  LS –  $72^\circ$  LS diberi nama zona C dan berakhir pada zona X yang terletak pada  $72^\circ$  LU –  $84^\circ$  LS. Huruf I dan O tidak dipergunakan dalam penamaan zona lintang. Koordinat UTM menggunakan perhitungan jarak dalam satuan meter. Penamaan suatu wilayah di permukaan bumi menggunakan koordinat UTM yaitu dengan menyebutkan zona bujur dan zona lintang. Di bawah ini adalah ilustrasi pembagian zona bujur dan lintang pada koordinat UTM.



**Gambar 2.5** Zona Bujur dan Zona Lintang pada Koordinat UTM

Setiap zona pada koordinat UTM mempunyai sumbu masing-masing, dengan titik nol pada perpotongan antara meridian sentralnya dengan ekuator. Sumbu X pada koordinat UTM disebut “*Northing*” dan sumbu Y disebut “*Easting*”. Untuk menghindari koordinat negative, meridian sentral diberi nilai awal absis (X) 500.000 meter. Semakin ke barat nilai koordinat semakin berkurang, misalnya 400.000, 300.000, dst. Semakin ke timur semakin bertambah, misalnya 600.000, 700.000, dst. Zona

yang terletak di bagian selatan khatulistiwa diberi nilai awal ordinat (Y) 10.000.000 meter dan zona di sebelah utara khatulistiwa tetap mempunyai ordinat 0 meter. Semakin ke utara nilai koordinat semakin bertambah dan sebaliknya semakin ke selatan semakin berkurang.

Rumus konversi dari koordinat bujur lintang ke koordinat UTM dapat dihitung menggunakan persamaan (2.31) dan (2.32) berikut.

$$\text{Northing} = ON \pm ko \times G + \Delta L \quad (2.31)$$

$$\text{Easting} = OE \pm ko \times p + \Delta B \quad (2.32)$$

Keterangan:

ON : *Origin North*= 10.000.000 meter

OE : *Origin East*= 500.000 meter

ko : konstanta= 0.9996

G : panjang busur meridian p: panjang busur lintang

$\Delta L$  : selisih lintang terhadap khatulistiwa

$\Delta B$  : selisih bujur terhadap prime meridian

## 2.12 Kepadatan Lalu Lintas

Volume kesibukan dari warga kota yang sangat tinggi tentunya tidak terlepas dari pemakaian jalan-jalan untuk keperluan atau aktivitas sehari-hari. Seiring dengan kemajuan teknologi, terutama yang berkaitan dengan bidang otomotif mengangkut kendaraan bermotor yang menggunakan Bahan Bakar Minyak (BBM) seperti premix, premium, dan solar tentunya mengakibatkan pembuangan asap (emisi) yang tidak mungkin terelakkan lagi di jalan-jalan Kota Surabaya. Dengan meningkatnya pertumbuhan ekonomi dan berdampak pula terhadap meningkatnya pendapatan per kapita masyarakat Indonesia sebelum dilanda resesi ekonomi 1997, semakin banyak orang yang menggunakan kendaraan bermotor baik itu mobil maupun motor dalam menjalankan aktivitas. Selain itu, adanya kendaraan umum seperti bus kota dan angkutan kota menambah ramainya jalur lalu lintas di Kota Surabaya. Kemacetan lalu lintas

pada jam-jam sibuk (07.00-09.00) tidak dapat dihindari karena masyarakat siap melakukan berbagai aktivitas, di antaranya berangkat kerja, berangkat sekolah, dan keperluan lainnya. Sebaliknya pada 16.00 WIB, masyarakat pulang dari kerja kembali memadati arus lalu lintas. Rutinitas ini menimbulkan kemacetan lalu lintas dan pencemaran udara akibat pembuangan asap melalui knalpot kendaraan bermotor yang merupakan sumber utama dari CO.

### **2.13 Pencemaran Udara**

Pencemaran udara adalah masuk atau dimasukkannya zat, energi dan/atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambien turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya. (Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 39 tahun 2008). Pencemaran udara dapat ditimbulkan oleh sumber-sumber alami maupun kegiatan manusia. Beberapa definisi gangguan fisik seperti polusi suara, panas, radiasi atau polusi cahaya dianggap sebagai polusi udara. Sifat alami udara mengakibatkan dampak pencemaran udara dapat bersifat langsung dan local, regional, maupun global. Polutan pencemar udara dibedakan menjadi polutan primer dan polutan sekunder. Polutan primer adalah substansi polutan yang ditimbulkan langsung dari sumber polutan udara. Polutan sekunder adalah substansi polutan yang terbentuk dari reaksi polutan-polutan primer di atmosfer.

Berdasarkan Baku Mutu Udara Ambien (BMUA) menurut Peraturan Pemerintah Nomor 41 tahun 1999. Parameter polutan udara meliputi karbon monoksida (CO), nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>), hidrokarbon (CH), sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>), ozon (O<sub>3</sub>), partikel yang berukuran ≤ 10 mikron (PM10), partikel yang berukuran ≤ 2.5 mikron (PM2.5), Total Suspended Particulate/ debu (TSP), timah hitam (Pb), serta dustfall (debu jatuh). Tidak semua polutan yang diemisi ke udara dapat menimbulkan dampak penting. Jika laju emisinya kecil atau durasi pemunculannya singkat, suatu emisi

polutan kemungkinan besar tidak akan terlalu mempengaruhi kualitas udara ambien sampai ke tingkatan signifikan. Kriteria batas polutan penting yang dikeluarkan *New Jersey Department of Environmental Protection* adalah tercantum pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Kriteria Batas Polutan Penting dari 3 Pencemar Utama

| Polutan                              | Emisi<br>(Ton/Tahun)             | Baku Mutu<br>(ppm/jam) |
|--------------------------------------|----------------------------------|------------------------|
| Nitrogen Dioksida (NO <sub>2</sub> ) | 25 <sup>a</sup> /40 <sup>b</sup> | 0.05                   |
| Karbon Monoksida (CO)                | 100                              | 20                     |
| Sulfur Dioksida (SO <sub>2</sub> )   | 40                               | 0.1                    |

Keterangan: a. Jika tinggi cerobong/keluaran < 20 m

b. Jika tinggi cerobong/keluaran ≥ 20 m

Tidak semua polutan tersebut akan diestimasi, tetapi hanya satu pencemar yang akan diestimasi menggunakan metode *universal kriging*. Pencemar tersebut adalah yang berperan paling penting dalam pencemaran udara, yaitu gas CO.

### 2.13.1 Karbon Monoksida (CO)

Sumber CO di Surabaya adalah kendaraan bermotor, terutama yang menggunakan bahan bakar bensin, pembakaran batubara dan minyak dari industri, dan pembakaran sampah domestik. Dalam laporan WHO (1992) dinyatakan paling tidak 90% dari CO diudara perkotaan berasal dari emisi kendaraan bermotor. Sumber CO dari dalam ruang (*indoor*) termasuk dari tungku dapur rumah tangga dan tungku pemanas ruang. Karakteristik biologis yang paling penting dari CO adalah kemampuannya untuk berikatan dengan haemoglobin, pigmen sel darah merah yang mengangkut oksigen keseluruh tubuh. Sifat ini menghasilkan pembentukan karboksihaemoglobin (HbCO) yang 200 kali lebih stabil dibandingkan oksihemoglobin (HbO<sub>2</sub>). Penguraian HbCO yang relatif lambat menyebabkan terhambatnya kerja molekul sel

pigmen tersebut dalam fungsinya membawa oksigen keseluruh tubuh. Kondisi seperti ini bisa berakibat serius, bahkan fatal, karena dapat menyebabkan keracunan. Dampak keracunan CO sangat berbahaya bagi orang yang telah menderita gangguan pada otot jantung atau sirkulasi darah perifer yang parah. Dampak negatif lain yang diakibatkan oleh konsentrasi CO yang tinggi yaitu dapat menyebabkan perubahan tekanan darah, meningkatkan denyut jantung, ritme jantung menjadi abnormal, gagal jantung, dan kerusakan pembuluh darah perifer.

## 2.14 Penelitian Sebelumnya

Beberapa penelitian yang membahas *universal kriging* antara lain Mercer. L., Szpiro. A., Sheppard. L., et al. (2011) yang membahas mengenai perbandingan metode *universal kriging* dengan *Land-use Regression* pada studi kasus konsentrasi mono-nitrogen oksida yang berpengaruh terhadap penyakit Atherosklerosis di Los Angeles, Amerika Serikat. Pada penelitian ini metode *universal kriging* memberikan hasil yang lebih baik daripada *Land-use Regression* dan dibuktikan dengan nilai RMSE *universal kriging* yang lebih baik. Gundogdu dan Guney (2007) meneliti mengenai penggunaan metode *universal kriging* dan sejumlah semivariogram pada studi kasus permukaan air tanah di Bursa, Turki. Fokus utama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah mengetahui pengaruh sejumlah semivariogram teori yang dicocokkan dengan semivariogram eksperimental.

Penelitian selanjutnya mengenai *universal kriging* juga dilakukan oleh Selby dan Kockelman (2011) pada studi kasus sejumlah parameter arus lalu lintas di Texas, Amerika Serikat. Metode ini digunakan karena tidak tersedianya data sejumlah parameter arus lalu lintas pada beberapa daerah di Texas sehingga metode ini merupakan metode yang paling tepat untuk menjawabnya. Sejumlah parameter lalu lintas perlu untuk diketahui agar dapat dijadikan rujukan keputusan strategis dalam pengaturan lalu lintas di Texas. Serta Laksana (2010) dengan topik penggunaan metode *universal kriging* untuk memprediksi



porositas sebagai ukuran kandungan air tanah. Penelitian ini lebih banyak membahas mengenai metode *universal kriging* daripada contoh kasus yang digunakan

Rafsanjani (2012) juga menggunakan metode *universal kriging* dalam penelitiannya yang berjudul analisis penyebaran properti reservoir pada petrophysical modelling di lokasi "x" papua barat dengan metode universal kriging. Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa Zona 1A dan 1B merupakan target reservoir yang prospektif karena berdasarkan analisis statistika deskriptif dan *Univeral kriging* didapatkan hasil penyebaran porositas dan NTG yang tertinggi jika dibandingkan dengan zona yang lainnya Selain itu di Indonesia belum banyak dilakukan penelitian yang menggunakan metode *Universal kriging* dengan studi kasus bidang perminyakan. apalagi studi kasus bidang pencemaran udara.

Beberapa penelitian sebelumnya tentang pencemaran udara dilakukan oleh (Rachmawati, 2009) tentang perbandingan metode *ordinary kriging* dan *cokriging* untuk mengestimasi kadar  $\text{NO}_2$  di kota Bogor. Arah mata angin atau sudut anisotropi yang berbeda yaitu dari arah utara ( $0^\circ$ ), timur laut ( $45^\circ$ ), timur ( $90^\circ$ ) dan tenggara ( $135^\circ$ ) dapat meningkatkan presisi pendugaan kadar  $\text{NO}_2$ . Hasil interpolasi  $\text{NO}_2$  dengan metode *ordinary kriging* dibandingkan dengan *cokriging* pada empat sudut anisotropi. Perbandingan hasil interpolasi  $\text{NO}_2$  berdasarkan nilai RMSE menunjukkan bahwa metode *cokriging* khususnya pada sudut anisotropi  $135^\circ$  lebih baik daripada metode *ordinary kriging*.

Suryani. S.& SO. e. a. (2011) yang bertujuan untuk mengetahui dispersi  $\text{SO}_2$  pada cerobong asap PT Semen Tonasa. Penelitian ini menggunakan metode Gaussian Plume Equation yang menghasilkan estimasi konsentrasi  $\text{SO}_2$  pada cerobong asap PT Semen Tonasa unit II/III adalah 0.090 ppm dan unit IV 0.12 ppm dengan jarak dari sumber sejauh 350-500 m. (Putri, 2013) melakukan penelitian tentang estimasi konsentrasi Nitrogen Dioksida ( $\text{NO}_2$ ) dan Karbon Monoksida (CO) di udara Surabaya menggunakan Cokriging dan (Aisyiah, 2014) melakukan

penelitian tentang pemodelan konsentrasi partikel debu ( $PM_{10}$ ) pada pencemaran udara di Kota Surabaya dengan metode *Geographically-Temporally Weighted Regression*.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

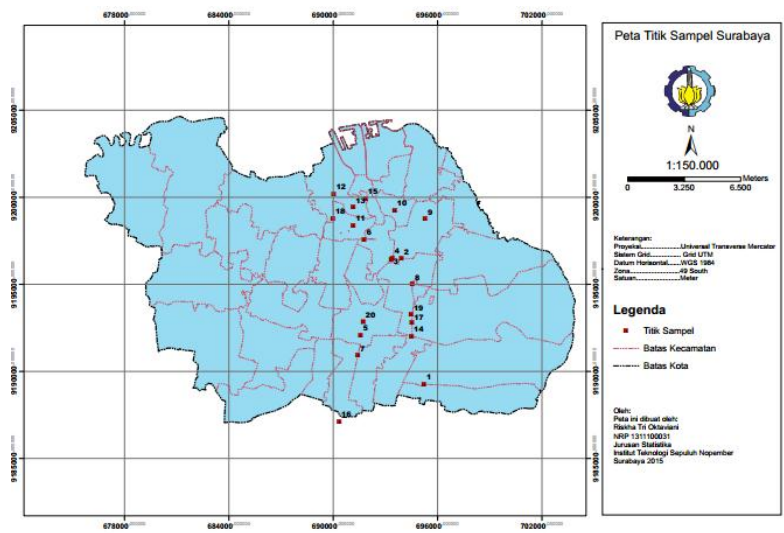
## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Sumber Data dan Lokasi Penelitian**

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder mengenai kualitas udara ambien di Kota Surabaya pada tahun 2010 yang diperoleh dari Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan dan Pengendalian Penyakit Menular (BBTKL-PPM) Kota Surabaya dan hasil penelitian (Putri. 2013) tentang estimasi konsentrasi Nitrogen Dioksida ( $\text{NO}_2$ ) dan Karbon Monoksida (CO) di udara Surabaya menggunakan Cokriging. Pengambilan sampel dilakukan sekali dalam satu jam pada musim kemarau, Juni 2010. Terdapat 20 titik pengamatan yang merupakan lokasi berpotensi tinggi terjadinya pencemaran akibat gas buang kendaraan bermotor. Ke-20 titik tersebut antara lain.

1. Perempatan SIER Rungkut
2. Perempatan Jalan Prof. Moestopo-Jalan Dharmawangsa
3. Pertigaan Jalan Raya Gubeng-Jalan Pemuda
4. Stasiun Gubeng
5. Depan RSI Jalan Ahmad Yani
6. Perempatan Jalan Tunjungan-Jalan Gentengkali
7. Pertigaan Jl Ahmad Yani-Jl Margorejo Indah
8. Perempatan Jl Menur-Jl Kertajaya
9. Perempatan Jl Kenjeran-Jl Kedung Cowek
10. Perempatan Jl Kapasan-Jl Simokerto
11. Stasiun Pasar Turi
12. Pertigaan Jl Gresik-Jl Demak
13. Pertigaan Jl Indrapura-Jl Parangkusuma
14. Perempatan Jl Panjang Jiwo-Jl Raya Nginden
15. Depan monumen Jembatan Merah Plaza
16. Terminal Purabaya
17. Pertigaan Jl Raya Nginden-Jl Nginden Semolo
18. Perempatan Jalan Demak-Jalan Dupak
19. Terminal Bratang
20. Terminal Joyoboyo



Gambar 3.1 Titik Pengamatan Udara Ambien di Kota Surabaya

3.2 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan adalah konsentrasi CO. Selain konsentrasi CO juga diperlukan koordinat titik pengambilan sampel yang dinyatakan dalam koordinat bumi latitude dan longitude. kemudian dikonversi ke dalam koordinat UTM. Data konsentrasi CO serta koordinat dari 20 titik pengamatan ditampilkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Data Konsentrasi CO serta Koordinat Bujur Lintang dan Koordinat UTM

| $i$<br>Titik<br>Pengamatan | Longitude | Latitude | Northing | Eastthing | $z(u_i)$ CO<br>(ppm) |
|----------------------------|-----------|----------|----------|-----------|----------------------|
| 1                          | 112.76864 | -7.33097 | 9189279  | 695237    | 4.17                 |
| 2                          | 112.75661 | -7.26582 | 9196489  | 693937    | 5.86                 |
| 3                          | 112.75120 | -7.26631 | 9196438  | 693340    | 7.89                 |
| 4                          | 112.75179 | -7.26524 | 9196527  | 693406    | 8.50                 |
| 5                          | 112.73551 | -7.30577 | 9192080  | 691589    | 8.98                 |
| 6                          | 112.73708 | -7.25588 | 9197597  | 691785    | 9.85                 |
| 7                          | 112.73397 | -7.31629 | 9190922  | 691415    | 10.50                |

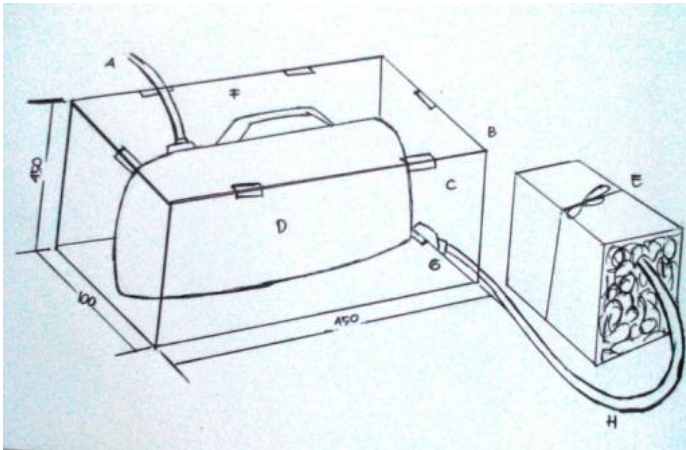
**Tabel 3.1** Data Konsentrasi CO serta Koordinat Bujur Lintang dan Koordinat UTM (Lanjutan)

| $i$<br>Titik<br>Pengamatan | Longitude | Latitude | Northing | Eastthing | $z(u_i)$ CO<br>(ppm) |
|----------------------------|-----------|----------|----------|-----------|----------------------|
| 8                          | 112.76219 | -7.24079 | 9195001  | 694559    | 10.90                |
| 9                          | 112.73142 | -7.23937 | 9198763  | 695304    | 11.00                |
| 10                         | 112.75254 | -7.24079 | 9199267  | 693542    | 11.00                |
| 11                         | 112.73101 | -7.24831 | 9198379  | 691153    | 11.00                |
| 12                         | 112.76209 | -7.23243 | 9200189  | 690043    | 11.10                |
| 13                         | 112.73142 | -7.23937 | 9199428  | 691162    | 11.30                |
| 14                         | 112.76165 | -7.30655 | 9192012  | 694499    | 11.50                |
| 15                         | 112.73774 | -7.23485 | 9199923  | 691867    | 11.85                |
| 16                         | 112.72447 | -7.35046 | 9187142  | 690351    | 12.85                |
| 17                         | 112.76209 | -7.29929 | 9192784  | 694521    | 12.90                |
| 18                         | 112.72080 | -7.24498 | 9198809  | 689991    | 12.99                |
| 19                         | 112.76176 | -7.29487 | 9193274  | 694493    | 16.08                |
| 20                         | 112.73678 | -7.29885 | 9192844  | 691733    | 19.17                |

### 3.2.1 Pengukuran Karbon Monoksida (CO)

CO merupakan senyawa yang tidak berbau, tidak berasa dan pada suhu udara normal berbentuk gas tidak berwarna. CO dihasilkan dari proses pembakaran tidak sempurna dari bahan bakar fosil, seperti bensin, minyak kayu, dan kayu bakar. Cara pengukuran CO di udara ambien tertuang dalam SNI 7119.10:2011 dengan judul "Udara ambien – bagian 10: Cara uji kadar CO menggunakan metode *Non Dispersive Infra Red*(NDIR)". Peralatan yang digunakan dalam uji ini adalah:

1. Kantong pengumpul sampel uji CO
2. Alat ukur CO dengan detektor NDIR



**Gambar 3.2** Rangkaian Peralatan Pengambilan Sampel Uji Karbon Monoksida (CO) (sumber: SNI 2011)

Keterangan:

- |                               |                                |
|-------------------------------|--------------------------------|
| A : aliran udara masuk        | E : pompa vakum                |
| B : kotak hampa udara (vakum) | F : kran buka tutup Tedlar bag |
| C : ruang hampa udara (vakum) | G : kran pengatur vakum        |
| D : Tedlar bag                | H : kran pengatur laju alir    |

Langkah-langkah dalam pengumpulan sampel uji sebagai berikut:

1. Memasang alat sedemikian rupa seperti ditunjukkan pada Gambar 3.2. kantong pengumpul harus benar-benar vakum dan terbebas dari kontaminan
2. Atur laju pompa vakum sesuai dengan kantong pengumpul yang digunakan. Sebelum melakukan pengujian, harus diperhatikan prosedur kalibrasi sebagai berikut:
  - a. Mengalirkan *zero gas* pada alat dan tetapkan pembacaan nol pada pencatat (*recorder*)
  - b. Nilai nol disesuaikan dengan skala pencatat (*zero adjusment*)

- c. Memasukkan segera standar gas dan buat kurva kalibrasi (minimal 3 titik)

Langkah-langkah pengujiannya sebagai berikut:

1. Mengondisikan alat ukur hingga siap untuk pengukuran
2. Memastikan alat dalam keadaan terkalibrasi
3. Menghubungkan wadah pengumpul berisi sampel uji gas CO ke katup gas masuk pada alat ukur.
4. Melakukan pengukuran.
5. Mencatat data yang diperoleh (dalam satuan ppm).

### 3.3 Langkah Analisis Data

Tahapan dan langkah-langkah dalam analisis data menggunakan metode *universal kriging* adalah sebagai berikut.

1. Melakukan statistika deskriptif dan pengujian normalitas data konsentrasi CO.
2. Memplotkan data untuk mengetahui kecenderungan trend.
3. Melakukan analisis trend dengan memplotkan nilai data konsentrasi CO dengan koordinat lokasinya .
4. Melakukan penghitungan semivariogram eksperimental untuk *universal kriging* data konsentrasi CO pada masing-masing titik pengamatan. Analisis ini akan menghasilkan nilai semivariogram eksperimental pada jarak tertentu dan digambarkan dalam grafik.
5. Melakukan analisis semivariogram teoritis dengan cara membuat grafik semivariogram *Exponential*, *Spherical* dan *Gaussian* agar didapatkan tiap properti semivariogram teoritis.
6. Melakukan analisis struktural dengan membandingkan semivariogram eksperimental untuk *universal kriging* dari perhitungan dengan semivariogram teoritis. kemudian memilih model semivariogram teoritis terbaik berdasarkan bentuk visual, nilai MSE dan properti semivariogram.



7. Menghitung pembobot *Universal kriging*( $w$ ) berdasarkan model semivariogram teoritis terbaik. Analisis ini membutuhkan data jarak antara lokasi penelitian dan antara lokasi penelitian dengan titik yang ingin diketahui nilai penyebarannya.
8. Menghitung  $\hat{z}(u_0)$  atau estimasi nilai konsentrasi CO pada titik dalam jarak tertentu di masing-masing titik pengamatan. Pembuatan peta dapat dilakukan ketika semua titik pada lokasi penelitian sudah diestimasi sehingga dapat diketahui penyebaran nilai konsentrasi CO pada masing-masing titik pengamatan di lokasi-lokasi tersebut.

Tahapan dan langkah-langkah dalam analisis data menggunakan metode *ordinary kriging* adalah sebagai berikut.

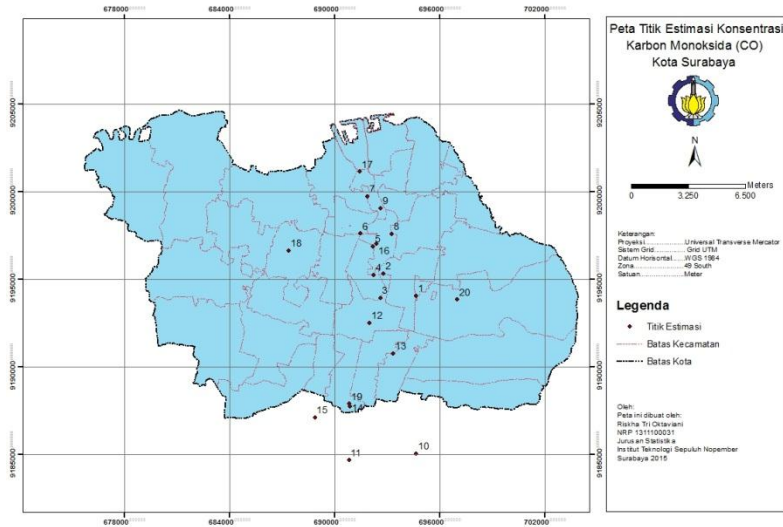
1. Menguji asumsi stasioneritas orde dua data konsentrasi CO. Pada *ordinary kriging* diperlukan asumsi data yang bersifat stasioner untuk data konsentrasi CO. Data dikatakan stasioner jika plot yang dihasilkan tidak mengandung tren tertentu.
2. Apabila asumsi stasioneritas sudah terpenuhi maka selanjutnya dilakukan perhitungan semivariogram eksperimental.
3. Melakukan analisis struktural. Analisis struktural yaitu mencocokkan semivariogram eksperimental dengan semivariogram teoritis. Hal ini dilakukan dengan membandingkan nilai mean square error (MSE) dari beberapa semivariogram teoritis, lalu dipilih model semivariogram teoritis dengan nilai MSE yang terkecil untuk digunakan pada analisis selanjutnya.
4. Melakukan perhitungan nilai bobot pengaruh masing-masing titik tersampel pada variabel terhadap titik yang akan diestimasi menggunakan semivariogram teoritis yang terpilih.

5. Menghitung  $\hat{z}(u_0)$  atau estimasi nilai konsentrasi CO pada titik dalam jarak tertentu di masing-masing titik pengamatan. Titik-titik tertentu yang akan dilakukan estimasi Konsentrasi CO ditampilkan pada Tabel 3.2.

**Tabel 3.2** Titik-titik Estimasi Konsentrasi CO di Kota Surabaya

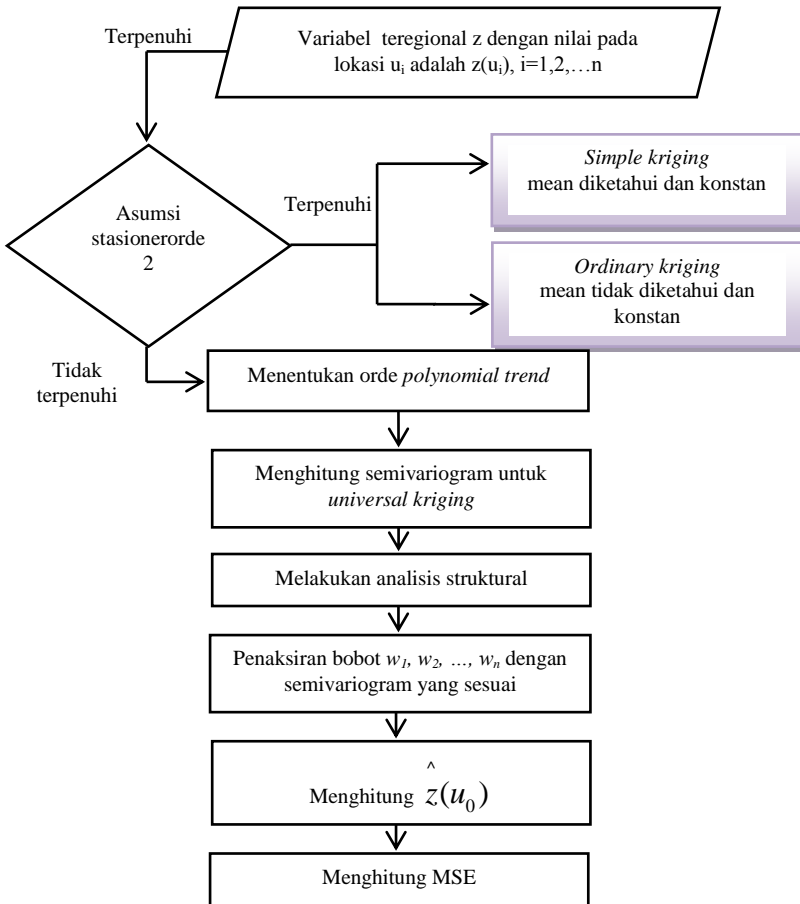
| Titik | Lokasi   | Northing | Easting |
|-------|--|----------|---------|
| 1     | Pertigaan Jl Menur Pumpungan-Jl Manyar         | 9194045  | 694659  |
| 2     | Pertigaan Jl Sulawesi-Jl Raya Gubeng           | 9195333  | 692792  |
| 3     | Perempatan Jl Bung Tomo-Jl Ngagel              | 9193945  | 692612  |
| 4     | Pertigaan Jl Urip Sumoharjo-Jl Raya Dharmo     | 9195246  | 692233  |
| 5     | Pertigaan Jl Gub. Suryo-Jl Jend. Basuki Rahmat | 9196866  | 692182  |
| 6     | Perempatan Jl Bubutan-Jl Blauran               | 9197608  | 691479  |
| 7     | Perempatan Jl Kembang Jepun-Jl Veteran         | 9199725  | 691885  |
| 8     | Pertigaan Jl Kusuma Bangsa-Jl Ambengan         | 9197582  | 693261  |
| 9     | Depan Pasar Atum                               | 9199044  | 692626  |
| 10    | Perempatan Jl Tropodo-Jl Bandara Djuanda       | 9185035  | 694642  |
| 11    | Pertigaan Jl Ir. Haji Djuanda-Jl Jend. A. Yani | 9184664  | 690840  |
| 12    | Stasiun Wonokromo                              | 9192516  | 691990  |
| 13    | Pertigaan Jl Jemur Sari-Jl Prapen Raya         | 9190760  | 693329  |
| 14    | Depan City Of Tomorrow                         | 9187747  | 690891  |
| 15    | Pertigaan Jl Raya Bungurasih-Jl Letjen Sutoyo  | 9187105  | 688879  |
| 16    | Taman Prestasi di Jalan Ketapang Kali          | 9197029  | 692393  |
| 17    | Perak Timur di Jalan Selanggor                 | 9201147  | 691441  |
| 18    | Sukomanunggal di Jalan Sukomanunggal           | 9196621  | 687396  |
| 19    | Gayungan di Jalan Raya Pagesangan              | 9187876  | 690830  |
| 20    | Gebang Putih di Jalan Arif Rachman Hakim       | 9193839  | 696990  |

Titik-titik estimasi pada Tabel 3.2 di atas diperjelas dalam Gambar 3.3 sebagai berikut.



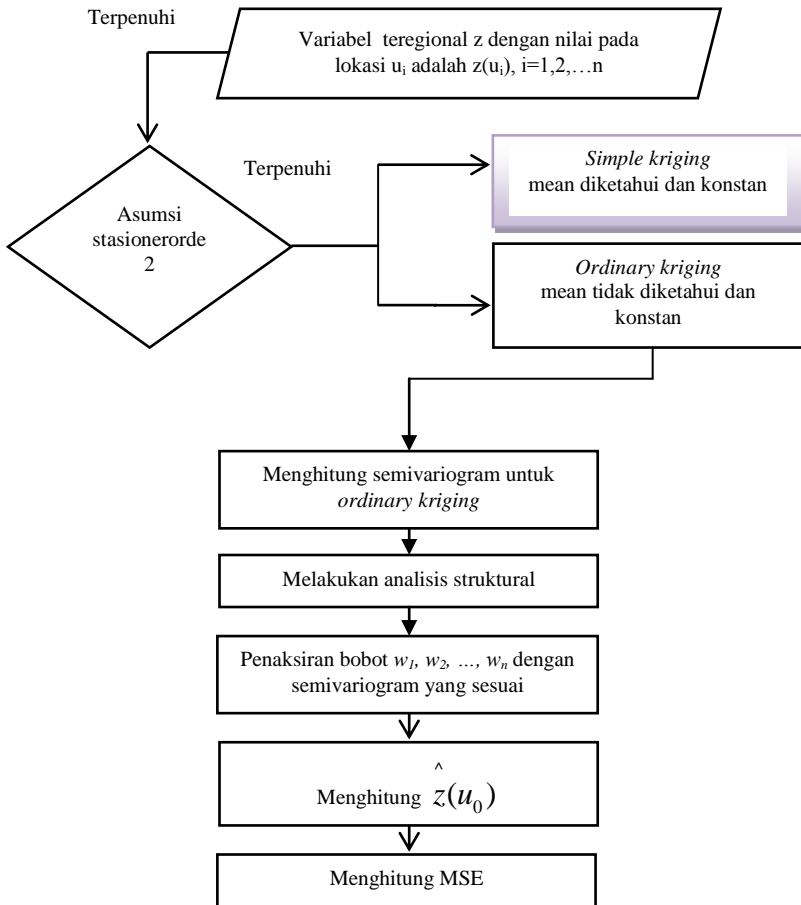
**Gambar 3.3** Peta Titik-titik Estimasi Konsentrasi CO di Kota Surabaya

Diagram alir dan analisis selengkapnya untuk metode *universal kriging* dapat dilihat pada Gambar 3.4 sebagai berikut.



**Gambar 3.4** Diagram Alir Analisis Data Menggunakan Metode *Universal kriging*

Diagram alir dan analisis selengkapnya untuk metode *ordinary kriging* dapat dilihat pada Gambar 3.5 sebagai berikut.



**Gambar 3.5** Diagram Alir Analisis Data Menggunakan Metode *Ordinary kriging*

## **BAB IV**

### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Karakteristik Konsentrasi Polutan Karbon Monoksida (CO)**

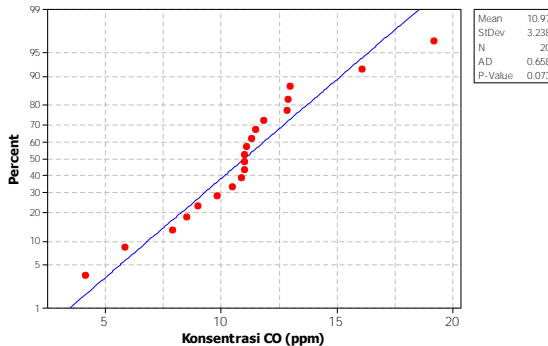
Konsentrasi polutan CO di Surabaya mempunyai karakteristik dengan ukuran pemusatan data dinyatakan dengan rata-rata sedangkan ukuran penyebaran data dinyatakan dengan standar deviasi dan varians. Konsentrasi minimum CO terdapat di Perempatan SIER Rungkut sebesar 4.17 ppm. Hal ini kemungkinan pengambilan sampel nilai konsentrasi CO di perempatan SIER Rungkut dilakukan bukan pada waktu padat lalu lintas. Konsentrasi maksimum CO terdapat di Terminal Joyoboyo sebesar 19.17 ppm yang hampir mencapai nilai ambang batas maksimum 20 ppm. Hal ini berarti kepadatan lalu lintas di Terminal Joyoboyo tinggi, sehingga menghasilkan gas buang kendaraan bermotor yang memicu tingginya nilai konsentrasi CO. Rata-rata konsentrasi CO di beberapa titik observasi cukup besar yaitu 10.97 ppm dengan standar deviasi 3.24. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi CO pada 20 titik pengamatan tersebut bervariasi.

#### **4.2 Asumsi Normalitas pada Data Konsentrasi Polutan Karbon Monoksida (CO)**

Analisis *Universal Kriging* membutuhkan asumsi normalitas dan stasioneritas pada data yang digunakan. Statistik uji yang tepat untuk pengujian normalitas pada data konsentrasi CO dengan jumlah sampel sebesar 20 adalah statistik uji Anderson-darling. Statistik uji ini *robust* untuk pengujian normalitas dengan sampel kecil ( $n \leq 25$ ).

Pengujian normalitas pada data konsentrasi CO dapat dilihat pada Gambar 4.1. Plot konsentrasi CO yang ditunjukkan oleh titik-titik berwarna merah telah menyebar mengikuti garis lurus berwarna biru. Hal ini menunjukkan bahwa asumsi normalitas untuk data konsentrasi CO terpenuhi. Selain itu, p-value data konsentrasi CO bernilai 0.073. Nilai tersebut lebih besar dari nilai

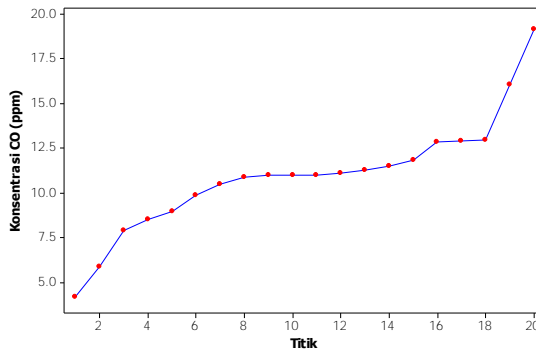
signifikansi  $\alpha$  (0.05), sehingga dapat disimpulkan pula bahwa asumsi normalitas untuk data konsentrasi CO telah terpenuhi.



**Gambar 4.1** Plot Normalitas Data Konsentrasi Polutan Karbon Monoksida (CO)

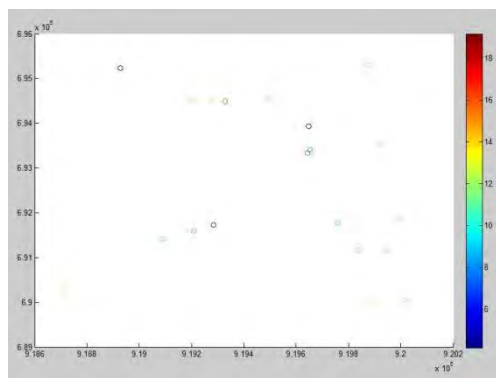
### 4.3 Asumsi Stasioneritas pada Data Konsentrasi Polutan Karbon Monoksida (CO)

Setelah asumsi normalitas terpenuhi, maka dilakukan plot untuk mengetahui titik-titik sebaran konsentrasi CO stasioner atau tidak. Ke-stasioner-an suatu data tampak setelah titik-titik observasi diplotkan dan dari plot tersebut terlihat apakah terdapat kecenderungan tren tertentu atau tidak. Dengan melakukan pengamatan pada plot sebaran data konsentrasi CO, maka uji stasioneritas dapat dilakukan. Data dikatakan stasioner jika sebaran data pada lokasi tertentu mempunyai sebaran data yang acak atau tidak bergantung pada lokasi atau faktor apapun. Sebaliknya data dikatakan *non-stasioner* jika data mempunyai sebaran yang teratur (tidak acak) dan juga bergantung pada faktor tertentu. Berikut adalah plot sebaran data dari Tabel 3.1.



**Gambar 4.2** Plot Sebaran Data Konsentrasi Polutan Karbon Monoksida (CO)

Plot sebaran data konsentrasi CO pada gambar 4.2 memiliki kecenderungan tren linier naik. Sehingga plot sebaran data tersebut dapat digolongkan ke dalam variabel *non-stasioner*. Kestasioneran suatu data juga dapat dilihat dari ada atau tidaknya gradasi warna dari data konsentrasi CO (Tabel 3.1) yang diplotkan kedalam *scatter* plot. Hasil plot data yang dimaksud tersaji dalam Gambar 4.3.



**Gambar 4.3** Scatter Plot Data Konsentrasi CO



Sumbu x dan sumbu y pada Gambar 4.3 menyatakan koordinat lokasi. Titik-titik yang tersebar menunjukkan konsentrasi CO dan warna dari titik-titik tersebut tergantung dari koordinat lokasinya. Jika diamati secara keseluruhan terdapat gradasi warna dari biru menuju ke merah berdasarkan tinggi rendahnya konsentrasi CO, sehingga dapat dikatakan bahwa plot di atas mengandung kecenderungan tren tertentu. Berdasarkan bukti-bukti diatas maka data konsentrasi CO digolongkan variabel *non-stasioner*.

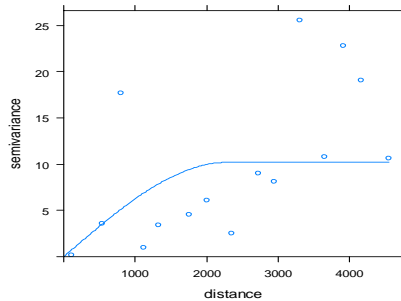
#### 4.4 Analisis Semivariogram Eksperimental untuk Mengestimasi Konsentrasi Polutan Karbon Monoksida (CO) dengan *Universal Kriging*

Berdasarkan hasil perhitungan semivariogram eksperimental konsentrasi CO diperoleh jumlah kelas sebanyak 15. Selain itu, diperoleh pasangan data pada masing-masing kelas dan jarak dari setiap pasangan data beserta nilai semivariogramnya yang ditampilkan pada Tabel 4.1

**Tabel 4.1** Nilai Semivariogram Eksperimental beserta Pasangan Data Konsentrasi CO dan Jaraknya dengan *Universal Kriging*

| Kelas | Pasangan Data | Jarak     | Nilai Semivariogram (Gamma) |
|-------|---------------|-----------|-----------------------------|
| 1     | 1             | 110.8016  | 0.2108                      |
| 2     | 3             | 540.7772  | 3.1293                      |
| 3     | 3             | 803.7296  | 18.2167                     |
| 4     | 4             | 1116.1270 | 0.5946                      |
| 5     | 4             | 1330.1950 | 3.3064                      |
| 6     | 6             | 1752.8270 | 4.8754                      |
| 7     | 9             | 2003.4500 | 6.1039                      |
| 8     | 5             | 2354.9470 | 2.2342                      |
| 9     | 6             | 2722.2020 | 8.0841                      |
| 10    | 11            | 2946.4790 | 8.4461                      |
| 11    | 6             | 3305.9730 | 28.3438                     |
| 12    | 11            | 3648.4820 | 9.7905                      |
| 13    | 12            | 3921.8010 | 21.0058                     |
| 14    | 7             | 4165.6890 | 14.6071                     |
| 15    | 6             | 4549.1840 | 7.9601                      |

Plot semivariogram eksperimental data konsentrasi CO dengan universal kriging bisa dilihat pada Gambar 4.4 sebagai berikut.

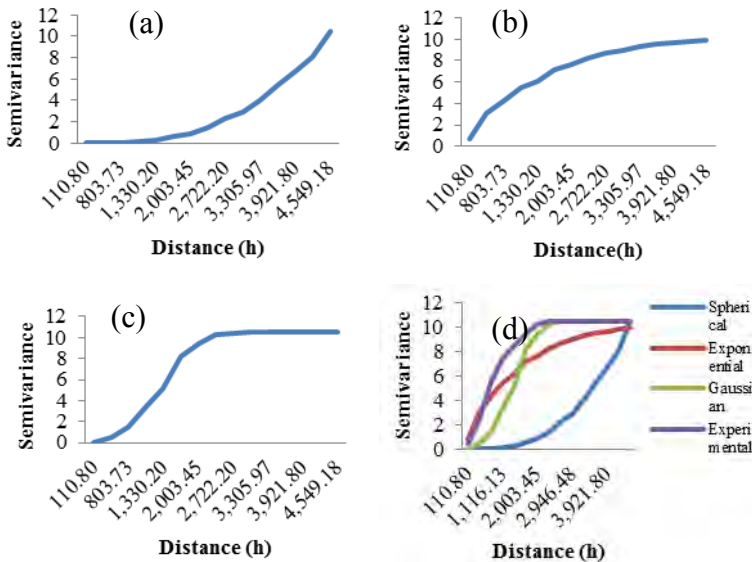


**Gambar 4.4** Plot Semivariogram Eksperimental Konsentrasi Karbon Monoksida (CO) dengan *Universal Kriging*

Nilai semivariogram pada Gambar 4.4. konstan setelah jarak 2285 m, yang berarti konsentrasi CO tidak memiliki dependensi lagi pada saat jarak 2285 m atau lebih dengan nilai sill ( $c$ ) sebesar 10.4871. Nilai sill tersebut diperoleh dari nilai variansi data pada Tabel 3.1. Plot semivariogram eksperimental tersebut yang digunakan sebagai pembandingan dalam pemilihan semivariogram teoritis terbaik selain kriteria kebaikan model, yang dalam penelitian ini menggunakan *mean squared error* (MSE).

#### 4.5 Analisis Semivariogram Teoritis untuk Mengestimasi Konsentrasi Polutan Karbon Monoksida (CO) dengan *Universal Kriging*

. Hasil analisis struktural diperoleh semivariogram dengan model *Exponential*. Model tersebut diambil setelah di bandingkan dengan beberapa semivariogram yang dianggap cocok dengan metode *Universal kriging* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.5.

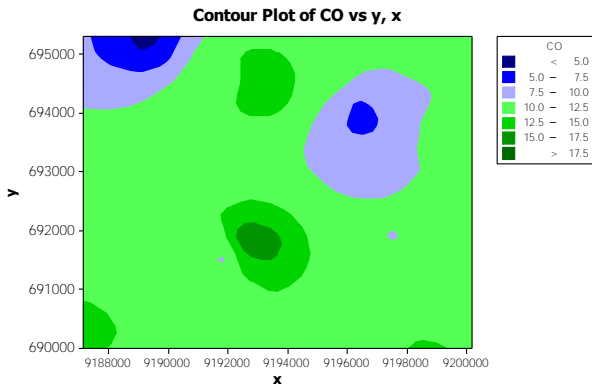


**Gambar 4.5** (a) Semivariogram Spherical, (b) Semivariogram Exponential, (c) Semivariogram Gaussian, (d) Perbandingan Plot Semivariogram Experimental dan Ke-3 Plot Semivariogram Teoritis dengan *Universal Kriging*

Plot semivariogram teoritis yang paling mendekati diantara ketiga plot semivariogram teoritis pada Gambar 4.5 adalah semivariogram Gaussian (Gambar 4.5 (c)). Secara visual, model Gaussian lebih mendekati harapan dengan kestabilan plot semivariogram yang lebih baik dibandingkan model Spherical dan Exponential. Namun nilai MSE Model Gaussian lebih besar dibandingkan Model Exponential. Yaitu sebesar 0.969145 untuk model Spherical, 0.747434 untuk model Exponential, dan 0.776198 untuk model Gaussian. Model terpilih pada kasus ini adalah model Exponential, karena semakin kecil nilai MSE maka semakin baik model tersebut.

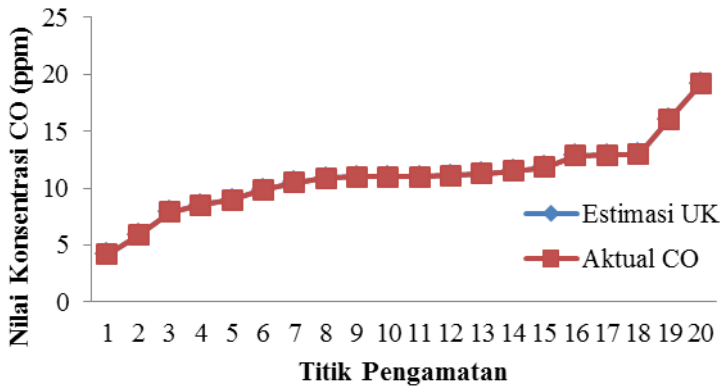
#### 4.6 Estimasi Konsentrasi Polutan Karbon Monoksida (CO) dengan *Universal Kriging*

Hasil estimasi CO dengan semivariogram teoritis terbaik ditunjukkan pada Gambar 4.6. Nilai konsentrasi CO bervariasi antara range < 5 ppm sampai > 17.5 ppm yang terbagi ke dalam 7 kelas. Hal ini menunjukkan range hasil estimasi lebar, sehingga sensitif terhadap nilai konsentrasi pada setiap lokasi. Estimasi konsentrasi dominan berkisar antara 10 ppm sampai 12.5 ppm, yang berarti nilai pemusatan konsentrasi CO hasil estimasi berada pada range 10 ppm sampai 12.5 ppm. MSE yang dihasilkan sebesar  $1.63 \times 10^{-8}$ .



**Gambar 4.6** *Contour Plot* Estimasi Karbon Monoksida (CO) dengan *Universal Kriging*

Perbandingan antara nilai estimasi dengan nilai aktual konsentrasi CO yang diperoleh melalui pengukuran di lapangan dapat dilihat pada Gambar 4.7.



**Gambar 4.7** Perbandingan Nilai Estimasi dengan *Universal Kriging* dan Nilai Aktual Konsentrasi CO di 20 Titik Pengamatan

Hasil estimasi CO dengan universal kriging berimpit dengan nilai aktual CO. Hal ini karena hasil estimasi CO dengan *universal kriging* menghasilkan nilai MSE yang sangat kecil sehingga dapat dikatakan hasil estimasi CO telah valid.

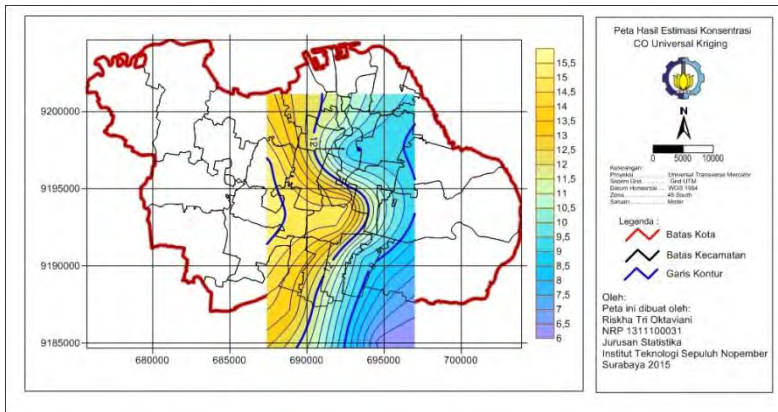
#### 4.7 Estimasi Konsentrasi Polutan Karbon Monoksida (CO) pada Titik-Titik Tertentu di Surabaya dengan *Universal Kriging*

Setelah didapatkan peta kontur pada Gambar 4.6 untuk estimasi konsentrasi CO. Selanjutnya dicari estimasi konsentrasi CO di 20 titik tertentu di Surabaya yang mempunyai arus lalu lintas padat dan lima titik terakhir merupakan lokasi pemantauan udara ambien (SUF) Kota Surabaya. Informasi pendukung seperti koordinat *latitude* dan *longitude* yang telah dikonversi ke koordinat UTM sudah ditampilkan pada Tabel 3.3. Hasil estimasi konsentrasi CO beserta errornya ditampilkan pada Tabel 4.2 sebagai berikut.

**Tabel 4.2** Hasil Estimasi Konsentrasi CO Pada 20 Titik Tertentu di Kota Surabaya dengan *Universal Kriging*

| Lokasi   | Northing | Easting | Konse<br>ntrasi<br>CO<br>(ppm) | Error |
|--|----------|---------|--------------------------------|-------|
| Pertigaan Jl Menur Pumpungan-Jl Manyar         | 9194045  | 694659  | 12.99                          | 1.27  |
| Pertigaan Jl Sulawesi-Jl Raya Gubeng           | 9195333  | 692792  | 11.49                          | 1.69  |
| Perempatan Jl Bung Tomo-Jl Ngagel              | 9193945  | 692612  | 14.61                          | 1.75  |
| Pertigaan Jl Urip Sumoharjo-Jl Raya Dharmo     | 9195246  | 692233  | 12.37                          | 1.94  |
| Pertigaan Jl Gub. Suryo-Jl Jend. Basuki Rahmat | 9196866  | 692182  | 10.02                          | 1.37  |
| Perempatan Jl Bubutan-Jl Blauran               | 9197608  | 691479  | 10.57                          | 0.99  |
| Perempatan Jl Kembang Jepun-Jl Veteran         | 9199725  | 691885  | 11.47                          | 0.88  |
| Pertigaan Jl Kusuma Bangsa-Jl Ambengan         | 9197582  | 693261  | 8.94                           | 1.38  |
| Depan Pasar Atum                               | 9199044  | 692626  | 10.71                          | 1.29  |
| Perempatan Jl Tropodo-Jl Bandara Djuanda       | 9185035  | 694642  | 6.33                           | 6.47  |
| Pertigaan Jl Ir. Haji Djuanda-Jl Jend. A. Yani | 9184664  | 690840  | 10.85                          | 5.07  |
| Stasiun Wonokromo                              | 9192516  | 691990  | 14.41                          | 1.01  |
| Pertigaan Jl Jemur Sari-Jl Prapen Raya         | 9190760  | 693329  | 9.77                           | 1.84  |
| Depan City Of Tomorrow                         | 9187747  | 690891  | 11.56                          | 1.68  |
| Pertigaan Jl Raya Bungurasih-Jl Letjen Sutoyo  | 9187105  | 688879  | 13.51                          | 3.28  |
| Taman Prestasi di Jalan Ketapang Kali          | 9197029  | 692393  | 9.65                           | 1.29  |
| Perak Timur di Jalan Selanggor                 | 9201147  | 691441  | 11.77                          | 2.18  |
| Sukomanunggal di Jalan Sukomanunggal           | 9196621  | 687396  | 15.18                          | 5.39  |
| Gayungan di Jalan Raya Pagesangan              | 9187876  | 690830  | 11.61                          | 1.73  |
| Gebang Putih di Jalan Arif Rachman Hakim       | 9193839  | 696990  | 9.077                          | 3.62  |

Hasil estimasi pada Tabel 4.2 di atas dapat disederhanakan ke dalam peta hasil estimasi pada Gambar 4.8 berikut.



**Gambar 4.8** Peta Hasil Estimasi Karbon Monoksida (CO) di 20 Titik Tertentu di Surabaya dengan *Universal Kriging*

Konsentrasi CO terkecil berada di Perempatan Jl Tropodo-Jl Bandara Djuanda sebesar 6.92 ppm. Konsentrasi CO terbesar berada di Sukomanunggal di Jalan Sukomanunggal sebesar 15.19 ppm. Estimasi konsentrasi CO yang dihasilkan mempunyai nilai yang beragam dengan varians estimasi CO sebesar 4.49. Hal ini menunjukkan kesensitifan nilai hasil estimasi pada setiap lokasi bagus. Nilai MSE hasil estimasi dengan *universal kriging* adalah sebesar 1.52. Nilai ini yang digunakan sebagai kriteria pembandingan antara metode *universal kriging* dan *ordinary kriging* pada sub-bab selanjutnya untuk mengetahui metode mana yang lebih baik diterapkan pada kasus ini.

Berdasarkan hasil estimasi yang telah ditampilkan pada Gambar 4.8 di atas, diberikan rekomendasi untuk mengatasi pencemaran udara, khususnya pencemaran udara akibat tingginya konsentrasi polutan CO. Penanggulangan terhadap bahaya pencemaran udara tidak bisa jika dilakukan secara parsial, melainkan harus dilakukan secara bersama dan menyeluruh oleh semua lapisan masyarakat dan pemerintah. Solusi yang dapat dilakukan oleh masyarakat dan pemerintah yaitu:

1. Memperbaiki sektor angkutan umum agar masyarakat tertarik menggunakan transportasi angkutan umum untuk mengurangi tingginya kendaraan pribadi yang beredar.
2. Membatasi usia kendaraan yang beredar, terutama angkutan umum karena semakin tua kendaraan akan semakin besar kemungkinan dampak buruk dari gas buangnya
3. Melakukan pemeriksaan uji emisi secara optimal dan berkala pada semua kendaraan umum maupun pribadi
4. Menambah taman kota dan ruang terbuka hijau.

#### **4.8 Perbandingan Hasil Estimasi Karbon Monoksida (CO) dengan Metode *Universal Kriging* dan *Ordinary Kriging***

Pada penelitian sebelumnya, data konsentrasi polutan CO yang digunakan oleh Putri, 2013 diasumsikan homogen atau stasioner untuk bisa dilakukan analisis menggunakan interpolasi *cokriging* karena metode tersebut membutuhkan asumsi stasioneritas. Sama halnya dengan interpolasi *cokriging*, metode *ordinary kriging* juga membutuhkan asumsi stasioneritas. Pada penelitian ini, ingin dibuktikan pula ketika data konsentrasi polutan CO yang merupakan variabel *non-stasioner* seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3, dilakukan analisis dengan metode *ordinary kriging*.

##### **4.8.1 Analisis Semivariogram Eksperimental Untuk Mengestimasi Konsentrasi Polutan Karbon Monoksida (CO) dengan *Ordinary Kriging***

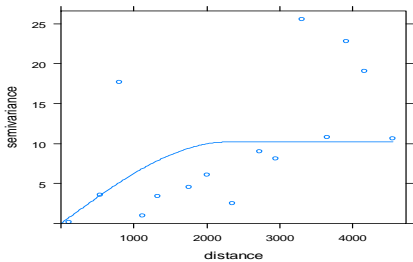
Berdasarkan hasil perhitungan semivariogram konsentrasi CO dengan *ordinary kriging*, diperoleh jumlah kelas sebanyak 15. Selain itu, diperoleh pasangan data pada masing-masing kelas dan jarak dari setiap pasangan data beserta nilai semivariogramnya yang ditampilkan pada Tabel 4.3.



**Tabel 4.3** Nilai Semivariogram Beserta Pasangan Data Konsentrasi CO dan Jaraknya dengan *Ordinary Kriging*

| Kelas | Pasangan Data | Jarak     | Nilai Semivariogram (gamma) |
|-------|---------------|-----------|-----------------------------|
| 1     | 1             | 110.8016  | 0.1861                      |
| 2     | 3             | 540.7772  | 3.5338                      |
| 3     | 3             | 803.7296  | 17.6831                     |
| 4     | 4             | 1116.1270 | 0.9604                      |
| 5     | 4             | 1330.1950 | 3.4306                      |
| 6     | 6             | 1752.8270 | 4.5201                      |
| 7     | 9             | 2003.4500 | 6.0514                      |
| 8     | 5             | 2354.9470 | 2.5333                      |
| 9     | 6             | 2722.2020 | 8.9959                      |
| 10    | 11            | 2946.4790 | 8.0779                      |
| 11    | 6             | 3305.9730 | 25.5675                     |
| 12    | 11            | 3648.4820 | 10.7561                     |
| 13    | 12            | 3921.8010 | 22.7634                     |
| 14    | 7             | 4165.6890 | 19.0837                     |
| 15    | 6             | 4549.1840 | 10.6521                     |

Plot semivariogram experimental dengan *ordinary kriging* untuk data tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.9.



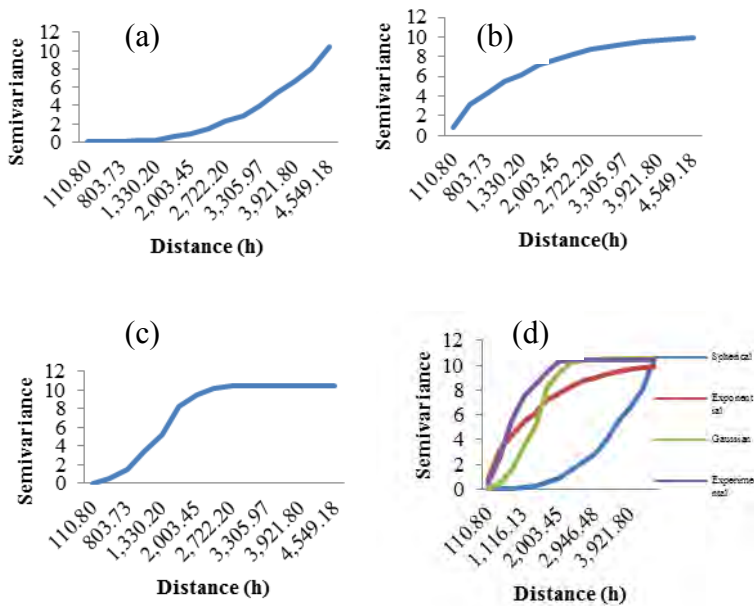
**Gambar 4.9** Plot Semivariogram Eksperimental Konsentrasi Karbon Monoksida (CO) dengan *Ordinary Kriging*

Nilai semivariogram pada Gambar 4.9. konstan setelah jarak 2285 m, yang berarti konsentrasi CO tidak memiliki dependensi lagi pada saat jarak 2285 m atau lebih dengan nilai sill (c) sebesar 10.4871. Nilai sill tersebut diperoleh dari nilai variansi data pada Tabel 3.1. Plot semivariogram eksperimental tersebut yang digunakan sebagai pembandingan dalam pemilihan semivariogram teoritis terbaik selain kriteria kebaikan model, yang dalam penelitian ini menggunakan *mean squared error* (MSE).

#### **4.8.2 Analisis Semivariogram Teoritis untuk Mengestimasi Konsentrasi Polutan Karbon Monoksida (CO) dengan Ordinary Kriging**

. Hasil analisis struktural diperoleh semivariogram dengan model *Exponential*. Model tersebut diambil setelah di bandingkan dengan beberapa semivariogram yang dianggap cocok dengan metode *ordinary kriging* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.10.

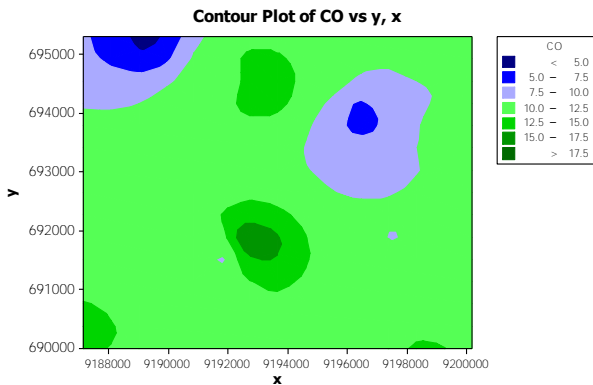
Plot semivariogram teoritis yang paling mendekati diantara ketiga plot semivariogram teoritis pada Gambar 4.10 adalah semivariogram Gaussian (Gambar 4.10 (c)). Secara visual, model Gaussian lebih mendekati harapan dengan kestabilan plot semivariogram yang lebih baik dibandingkan model Spherical dan Exponential. Namun nilai MSE model Gaussian lebih besar daripada model exponential. Dimana nilai MSE model Spherical sebesar 0.96809, model Exponential sebesar 0.74063, dan model Gaussian sebesar 0.76581. Hal ini menunjukkan bahwa model Exponential merupakan model terbaik dibandingkan model lainnya karena semakin kecil nilai MSE maka semakin baik model tersebut.



**Gambar 4.10** (a) Semivariogram Spherical, (b) Semivariogram Exponential, (c) Semivariogram Gaussian, (d) Perbandingan Plot Semivariogram Experimental dan Ke-3 Plot Semivariogram Teoritis dengan *Ordinary Kriging*

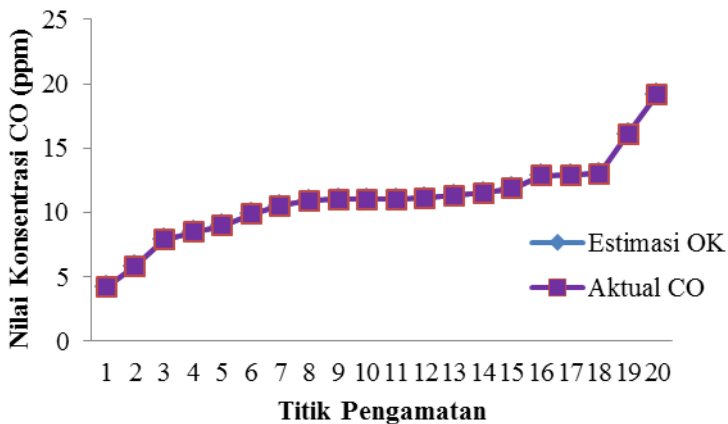
#### 4.8.3 Estimasi Konsentrasi Polutan Karbon Monoksida (CO) dengan *Ordinary Kriging*

Hasil estimasi CO dengan semivariogram teoritis terbaik ditunjukkan pada Gambar 4.11. Nilai konsentrasi CO bervariasi antara range  $< 5$  ppm sampai  $> 17.5$  ppm yang terbagi ke dalam 7 kelas. Hal ini menunjukkan range hasil estimasi lebar, sehingga sensitif terhadap nilai konsentrasi pada setiap lokasi. Estimasi konsentrasi dominan berkisar antara 10 ppm sampai 12.5 ppm, yang berarti nilai pemusatan konsentrasi CO hasil estimasi berada pada range 10 ppm sampai 12.5 ppm. MSE yang dihasilkan sebesar  $9.42 \times 10^{-8}$ .



**Gambar 4.11** *Contour Plot* Estimasi Karbon Monoksida (CO) dengan *Ordinary Kriging*

Perbandingan antara nilai estimasi dengan nilai aktual konsentrasi CO yang diperoleh melalui pengukuran di lapangan dapat dilihat pada Gambar 4.12.



**Gambar 4.12** Perbandingan Nilai Estimasi dengan *Ordinary Kriging* dan Nilai Aktual Konsentrasi CO di 20 Titik Pengamatan

Hasil estimasi CO dengan *ordinary kriging* berimpit dengan nilai aktual CO. Hal ini karena hasil estimasi CO dengan *ordinary kriging* menghasilkan nilai MSE yang sangat kecil sehingga dapat dikatakan hasil estimasi CO telah valid. Namun nilai tersebut masih lebih besar dari nilai MSE universal kriging, sehingga dalam kasus ini *universal kriging* lebih baik daripada *ordinary kriging*.

#### 4.8.4 Estimasi Konsentrasi Polutan Kabon Monoksida (CO) pada Titik-Titik Tertentu di Surabaya dengan *Ordinary Kriging*

Setelah didapatkan peta kontur pada Gambar 4.12 untuk estimasi konsentrasi CO dengan metode *ordinary kriging*. Selanjutnya dicari estimasi konsentrasi CO di 20 titik tertentu di Surabaya seperti pada metode *universal kriging*. Hasil estimasi konsentrasi CO dengan metode *ordinary kriging* beserta errornya ditampilkan pada Tabel 4.4 sebagai berikut.

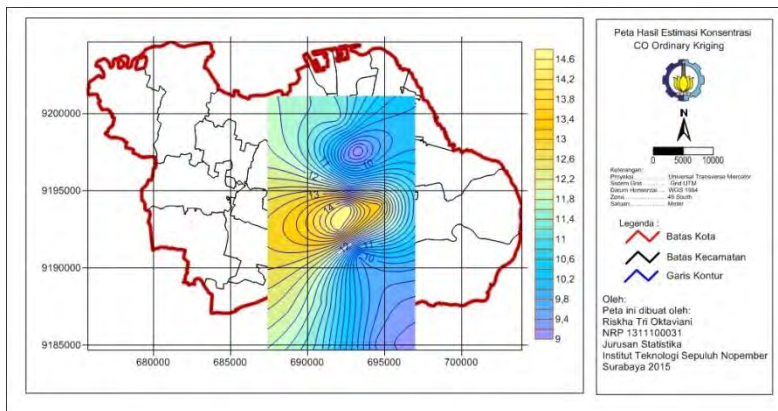
**Tabel 4.4** Hasil Estimasi Konsentrasi CO Pada 20 Titik Tertentu di Kota Surabaya *Ordinary Kriging*

| Lokasi   | Northing | Easting | Konsentrasi CO (ppm) | Error |
|--|----------|---------|----------------------|-------|
| Pertigaan Jl Menur Pumpungan-Jl Manyar         | 9194045  | 694659  | 13.28                | 3.03  |
| Pertigaan Jl Sulawesi-Jl Raya Gubeng           | 9195333  | 692792  | 11.33                | 4.22  |
| Perempatan Jl Bung Tomo-Jl Ngagel              | 9193945  | 692612  | 14.60                | 4.35  |
| Pertigaan Jl Urip Sumoharjo-Jl Raya Dharmo     | 9195246  | 692233  | 12.14                | 4.82  |
| Pertigaan Jl Gub. Suryo-Jl Jend. Basuki Rahmat | 9196866  | 692182  | 9.89                 | 3.31  |
| Perempatan Jl Bubutan-Jl Blauran               | 9197608  | 691479  | 10.44                | 2.23  |
| Perempatan Jl Kembang Jepun-Jl Veteran         | 9199725  | 691885  | 11.53                | 1.91  |
| Pertigaan Jl Kusuma Bangsa-Jl Ambengan         | 9197582  | 693261  | 8.94                 | 3.43  |
| Depan Pasar Atum                               | 9199044  | 692626  | 10.78                | 3.15  |
| Perempatan Jl Tropodo-Jl Bandara Djuanda       | 9185035  | 694642  | 9.28                 | 9.93  |

**Tabel 4.4** Hasil Estimasi Konsentrasi CO Pada 20 Titik Tertentu di Kota Surabaya dengan *Ordinary Kriging* (Lanjutan)

| Lokasi   | Northing | Easting | Konsentrasi CO (ppm) | Error |
|--|----------|---------|----------------------|-------|
| Pertigaan Jl Ir. Haji Djuanda-Jl Jend. A. Yani | 9184664  | 690840  | 11.26                | 8.54  |
| Stasiun Wonokromo                              | 9192516  | 691990  | 14.54                | 2.31  |
| Pertigaan Jl Jemur Sari-Jl Prapen Raya         | 9190760  | 693329  | 9.77                 | 4.59  |
| Depan City Of Tomorrow                         | 9187747  | 690891  | 11.62                | 4.02  |
| Pertigaan Jl Raya Bungurasih-Jl Letjen Sutoyo  | 9187105  | 688879  | 12.17                | 6.27  |
| Taman Prestasi di Jalan Ketapang Kali          | 9197029  | 692393  | 9.57                 | 3.13  |
| Perak Timur di Jalan Selanggor                 | 9201147  | 691441  | 11.44                | 4.90  |
| Sukomanunggal di Jalan Sukomanunggal           | 9196621  | 687396  | 12.17                | 9.07  |
| Gayungan di Jalan Raya Pagesangan              | 9187876  | 690830  | 11.60                | 4.15  |
| Gebang Putih di Jalan Arif Rachman Hakim       | 9193839  | 696990  | 10.89                | 7.26  |

Hasil estimasi pada Tabel 4.4 di atas dapat disederhanakan ke dalam peta hasil estimasi pada Gambar 4.13 berikut.



**Gambar 4.13** Peta Hasil Estimasi Karbon Monoksida (CO) pada 20 Titik Tertentu di Surabaya dengan *Ordinary Kriging*

Konsentrasi CO terkecil berada di Pertigaan Jl Kusuma Bangsa-Jl Ambengan sebesar 8.94 ppm. Konsentrasi CO terbesar berada di Perempatan Jl Bung Tomo-Jl Ngagel sebesar 14.60 ppm. Estimasi konsentrasi CO yang dihasilkan mempunyai nilai yang beragam dengan varians estimasi CO adalah 2.41. Hal ini menunjukkan kurang sensitive-nya nilai hasil estimasi pada setiap lokasi. Nilai MSE hasil estimasi dengan *ordinary kriging* diperoleh sebesar 2.18.

Berdasarkan hasil dan pembahasan di atas, diperoleh beberapa perbandingan penggunaan metode *universal kriging* dan *ordinary kriging* pada kasus ini seperti yang ditampilkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Perbandingan Hasil Estimasi CO Dengan *Universal Kriging* Dan *Ordinary Kriging*

| Kriteria                 | <i>Universal Kriging</i> | <i>Ordinary Kriging</i> |
|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Min Hasil Estimasi CO    | 6.92 ppm                 | 8.94 ppm                |
| Max Hasil Estimasi CO    | 15.19 ppm                | 14.60 ppm               |
| Range Hasil Estimasi CO  | 8.27                     | 5.66                    |
| Varian Hasil Estimasi CO | 4.89                     | 2.41                    |
| MSE Hasil Estimasi       | 1.52                     | 2.18                    |
| Model Terpilih, MSE      | Exponential, 0.75        | Exponential, 0.74       |

Metode *ordinary kriging* kurang sesuai diterapkan pada data konsentrasi polutan CO yang mana merupakan data *drift (non-stasioner)*. Jika dipaksakan, maka akan mendapatkan hasil estimasi dengan range dan varians estimasi CO yang lebih kecil dibandingkan hasil estimasi dengan metode *universal kriging*. Hal ini menunjukkan keragaman data dan kesensitifan hasil estimasi CO dengan *ordinary kriging* lebih kecil dibandingkan keragaman data hasil estimasi CO dengan *universal kriging*.

Visualisasi semivariogram experimental dan teoritis kedua metode sama. Hanya nilai gamma semivariogram yang sedikit berbeda. Hal ini mengakibatkan nilai MSE yang dihasilkan antara kedua metode hampir sama. Nilai MSE hasil estimasi CO dengan *universal kriging* sebesar 1.52 lebih kecil daripada *ordinary*

*kriging* sebesar 2.18. Hal ini menunjukkan bahwa pada kasus ini metode *universal kriging* lebih baik daripada *ordinary kriging*.

Berdasarkan bukti-bukti di atas, untuk kasus pencemaran udara dimana kondisi udara heterogen akibat sumber pencemar dan jangkaun pencemaran berbeda-beda di tiap lokasi, lebih tepat dilakukan estimasi dengan metode *universal kriging*. Karena seperti yang diketahui, *universal kriging* diterapkan pada data dengan variabel *non-stasioner* sedangkan *ordinary kriging* diterapkan pada data dengan variabel stasioner.



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan analisis dalam bab hasil dan pembahasan maka dapat dapat disimpulkan bahwa

1. Estimasi CO menggunakan *universal kriging* didapatkan dengan semivariogram teoritis Exponential. Konsentrasi CO terkecil berada di Perempatan Jl Tropodo-Jl Bandara Djuanda sebesar 6.92 ppm. Konsentrasi CO terbesar berada di Sukomanunggal di Jalan Sukomanunggal sebesar 15.19 ppm. Varians estimasi CO sebesar 4.87 dan Nilai MSE hasil estimasi yang diperoleh sebesar 1.52.
2. Estimasi CO menggunakan *ordinary kriging* didapatkan dengan semivariogram teoritis Exponential. Konsentrasi CO terkecil berada di Pertigaan Jl Kusuma Bangsa-Jl Ambengan sebesar 8.94 ppm. Konsentrasi CO terbesar berada di Perempatan Jl Bung Tomo-Jl Ngagel sebesar 14.60 ppm. Varians estimasi CO sebesar 2.41 dan nilai MSE hasil estimasi yang diperoleh sebesar 2.18.
3. Metode *ordinary kriging* kurang sesuai diterapkan pada data konsentrasi polutan CO yang mana merupakan data *drift* (non-stasioner) karena tidak sensitive terhadap perbedaan nilai estimasi yang dihasilkan. Hal ini ditunjukkan dengan nilai varians estimasi CO yang lebih kecil. Selain itu, nilai MSE hasil estimasi dengan *ordinary kriging* lebih besar dari *Universal kriging*. Sehingga metode yang tepat digunakan pada kasus ini adalah metode *universal kriging*.

#### **5.2 Saran**

Metode *Universal kriging* hanya mampu mengestimasi data yang bersifat *non-stasioner* dikarenakan data yang diestimasi mempunyai kecenderungan trend. Sedangkan data-data yang tidak memiliki trend atau yang bersifat stasioner dapat dilakukan estimasi dengan menggunakan metode *Ordinary*

*kriging*. Dalam permasalahan lain, biasanya juga akan ditemukan beberapa variabel yang mungkin berpengaruh terhadap variabel yang diestimasi. Untuk mengatasi hal tersebut dibutuhkan metode estimasi *Universal co-kriging*. *Universal cokriging* ini merupakan metode estimasi yang memperhitungkan koefisien dari variabel lain. Pada kasus lain dengan jumlah data yang sangat sedikit bisa dilakukan dengan *robust kriging*. Pada kasus dengan data outlier, bisa diatasi dengan *indicator kriging*. Karena *universal kriging* ini ketika dipaksakan dengan data yang sedikit maka tidak bisa membuktikan normalitas dan stasioneritas. Oleh karena itu, ada beberapa saran untuk penelitian serupa di masa mendatang.

1. Memperbanyak jumlah sampel yang diamati sehingga dapat mewakili keadaan sebenarnya di lapangan. Selain itu jika jumlah sampel cukup banyak, dapat menghitung keakurasian hasil estimasi menggunakan MSE. Karena pada hasil estimasi dengan *universal kriging* pada Tabel 4.2 dihasilkan beberapa nilai error yang besar, bahkan ada yang lebih besar daripada hasil estimasi CO.
2. Menggunakan data terbaru untuk analisis konsentrasi polutan di udara, agar bisa diketahui apakah konsentrasi polutan dari tahun ke tahun semakin tinggi atau tidak.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aisyiah. K. (2014). *Pemodelan Konsentrasi Partikel Debu (PM10) pada Pencemaran Udara di Kota Surabaya dengan Metode Geographically-Temporally Weighted Regression*. Surabaya: Jurusan Statistika Fakultas MIPA ITS.
- Alfiana. A. N. (2010). *Metode Ordinary Kriging pada Geostatistika*. Yogyakarta: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Negeri Yogyakarta.
- Anonim. (2014). Retrieved February 25. 2015. from <http://indonesiarayanews.com>
- Anonim. (2014). Retrieved February 25. 2015. from <http://green.kompasiana.com>
- Ayuni. N. D. (2011). *Perbandingan Metode Ordinary Kriging dan Inverse Distance Weighted (IDW) pada Interpolasi Spasial (Studi Kasus: Curah Hujan di Kabupaten Karangasem) [Skripsi]*. Denpasar: Universitas Udayana.
- Badan Lingkungan Hidup. (2010). *Laporan Status Lingkungan Hidup Provinsi Jawa Timur*. Surabaya: Badan Lingkungan Hidup Provinsi Jawa timur.
- BLH Surabaya. (2005). Surabaya: BLH Surabaya.
- BLH-Surabaya. (2007). *Status Lingkungan Hidup Kota Surabaya*. Surabaya: BLH-Surabaya.
- Bohling. G. (2005). Retrieved February 6. 2015. from [Kriging.people.ku.edu/~gbohling/cpe940/Kriging.pdf](http://Kriging.people.ku.edu/~gbohling/cpe940/Kriging.pdf).
- Chandra. B. (2005). *Pengantar Kesehatan Lingkungan*. Jakarta: Buku Kedokteran EGC.
- Chanlett. E. T. & GrawHill. M. (1989). *Environmental Protection hal. 249*. Kogagusha.
- Corbitt. R. A. (1989). *Standard Handbook of Environmental Engineering*. New York: McGraw-Hill Publishing Company.
- Gundogdu. K. & Guney. I. (2007). *Spatial Analyses of Ground-water Levels Using Universal Kriging*. J. Earth Syst. Sc.

- Isaaks. H. E..& Srivastava. d. R. (1989). Applied Geostatistics. New York: Oxford University Press.
- Laksana. E. (2010). Analisis Data Geostatistika Dengan Universal Kriging [Skripsi]. Yogyakarta: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta.
- Majani. B. (2007). Analysis of Ecternal Drift Kriging Algorithm With Application to Precipitation Estimation in Complex Orography [Thesis]. Enschede: Geo-Informatics. International Institue For Geo-Information Science And Observation.
- Mercer. L.. Szpiro. A.. Sheppard. L.. Lindstrom. J.. Adar. S.. Allen. R.. et al. (2011). Comparing Universal Kriging and Land-use Regression for Predicting Concentrations of Gaseous Oxides of Nitrogen (NO<sub>x</sub>) for The Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis and Air Pollutin (MESA Air). Atmosheric Enviromental 45 .
- Putri. D. S. (2013). Estimasi Konsentrasi Nitrogen Dioksida (NO<sub>2</sub>) dan Karbon Monoksida (CO) di Udara Surabaya Menggunakan Cokriging. Surabaya: Program Sarjana Jurusan Statistika FMIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Rachmawati. D. (2009). *Pendugaan Kadar NO<sub>2</sub> dengan Metode Ordinary Kriging dan Cokriging (Studi kasus: Pencemaran Udara di Kota Bogor)*. Bogor: Departemen Statistika Fakultas MIPA IPB.
- Rafsanjani. M. H. (2012). *ANALISIS PENYEBARAN PROPRTI RESERVOIR PADA PETROPHYSICAL MODELLING DI LOKASI "X" PAPUA BARAT DENGAN METODE UNIVERSAL KRIGING*. Surabaya: Jurusan Statistika Fakultas MIPA ITS.
- Selby. B..& Kockelman. K. (January 2011). Spatial Prediction of AADT In Unmeasured Locations By Universal Kriging. *Journal of Transport Geography*.

- Suryani, S., & SO, e. a. (2011). *Model Sebaran Polutan Cerobong Asap PT Semen Tonasa*. Makasar: Universitas Hasanudin.
- Wackernagel, H. (1995). *Multivariate Geostatistics. An Introduction with Applications*. Berlin: Springer.
- Walpole. (1995). *Pengantar Metode Statistika*.
- Wardhana, W. A. (2004). *Dampak Pencemaran Lingkungan (Edisi Revisi)*. Yogyakarta: Andi.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## LAMPIRAN

### Lampiran 1. *Syntax* Untuk Mendapatkan Nilai Dan Plot Semivariogram Dengan *Universal Kriging*

```
> konsentrasi=read.table("d://cinta.csv",sep=";",header=TRUE)
> coordinates(konsentrasi)=~x+y
>
> estimasi_konsentrasi=read.table("d://coordinatestimasi.csv",sep=";",header=TRUE)
> coordinates(estimasi_konsentrasi)=~x+y
> v <- variogram(co~x+y, data= konsentrasi)
> w<-fit.variogram(v, vgm(1, "Sph", 2285, 1))
> plot(v,w)
```

### Lampiran 2. *Syntax* Untuk Mendapatkan Nilai Estimasi CO Dengan *Universal Kriging*

```
> variogram= vgm(10.48712,"Exp",4549,0.747434)
> UK<-krige(co~x+y,konsentrasi,estimasi_konsentrasi,model=variogram)
[using universal kriging]
> print(v)
> print(UK)
```

### Lampiran 3. *Output* Nilai Semivariogram Dengan *Universal Kriging*

|   | np | dist      | gamma      | dir.hor | dir.ver | id   |
|---|----|-----------|------------|---------|---------|------|
| 1 | 1  | 110.8016  | 0.2107777  | 0       | 0       | var1 |
| 2 | 3  | 540.7772  | 3.1292765  | 0       | 0       | var1 |
| 3 | 3  | 803.7296  | 18.2166800 | 0       | 0       | var1 |
| 4 | 4  | 1116.1266 | 0.5945901  | 0       | 0       | var1 |
| 5 | 4  | 1330.1952 | 3.3063819  | 0       | 0       | var1 |



**Lampiran 3.** *Output* Nilai Semivariogram Dengan *Universal Kriging* (Lanjutan)

|    |    |           |            |   |        |
|----|----|-----------|------------|---|--------|
| 6  | 6  | 1752.8274 | 4.8755357  | 0 | 0 var1 |
| 7  | 9  | 2003.4496 | 6.1039586  | 0 | 0 var1 |
| 8  | 5  | 2354.9470 | 2.2341688  | 0 | 0 var1 |
| 9  | 6  | 2722.2017 | 8.0840841  | 0 | 0 var1 |
| 10 | 11 | 2946.4792 | 8.4461481  | 0 | 0 var1 |
| 11 | 6  | 3305.9725 | 28.3438354 | 0 | 0 var1 |
| 12 | 11 | 3648.4823 | 9.7904587  | 0 | 0 var1 |
| 13 | 12 | 3921.8014 | 21.0058100 | 0 | 0 var1 |
| 14 | 7  | 4165.6889 | 14.6070595 | 0 | 0 var1 |
| 15 | 6  | 4549.1844 | 7.9600503  | 0 | 0 var1 |

**Lampiran 4.** *Output* Nilai Estimasi CO Dengan *Universal Kriging*

coordinates var1.pred var1.var

|   |                   |           |          |
|---|-------------------|-----------|----------|
| 1 | (9194045, 694659) | 13.106104 | 3.047014 |
| 2 | (9195333, 692792) | 11.521964 | 4.239169 |
| 3 | (9193945, 692612) | 14.778459 | 4.375447 |
| 4 | (9195246, 692233) | 12.424871 | 4.866396 |
| 5 | (9196866, 692182) | 10.015601 | 3.323845 |
| 6 | (9197608, 691479) | 10.532663 | 2.245355 |

**Lampiran 4.** *Output* Nilai Estimasi CO Dengan *Universal Kriging* (Lanjutan)

7 (9199725, 691885) 11.519209 1.915634  
 8 (9197582, 693261) 8.931880 3.438636  
 9 (9199044, 692626) 10.746539 3.160776  
 10 (9185035, 694642) 6.917873 14.116047  
 11 (9184664, 690840) 11.007438 11.428077  
 12 (9192516, 691990) 14.552675 2.319840  
 13 (9190760, 693329) 9.721584 4.597303  
 14 (9187747, 690891) 11.637213 4.068598  
 15 (9187105, 688879) 13.401343 7.844165  
 16 (9197029, 692393) 9.644756 3.142880  
 17 (9201147, 691441) 11.835682 5.268183  
 18 (9196621, 687396) 15.187275 12.693609  
 19 (9187876, 690830) 11.676494 4.199431  
 20 (9193839, 696990) 8.971816 8.833795

**Lampiran 5.** *Output* Nilai Varian Hasil Estimasi CO Dengan *Universal Kriging*

**Descriptive Statistics: Estimasi CO**

| Variable    | Variance | Range |
|-------------|----------|-------|
| Estimasi CO | 4.486    | 8.269 |

### Lampiran 6. *Syntax* Untuk Mendapatkan Nilai Dan Plot Semivariogram Dengan *Ordinary Kriging*

```
> ta=read.table("d://cinta.csv",sep=";",header=TRUE)
> coordinates(ta)=~x+y
> databaru=read.table("d://coordinateestimasi.csv",sep=";",header=TRUE)
> coordinates(databaru)=~x+y
> v <- variogram(co~1, data= ta)
> w<-fit.variogram(v, vgm(1, "Sph", 2285, 1))
> plot(v,w)
```

### Lampiran 7. *Syntax* Untuk Mendapatkan Nilai Estimasi CO Dengan *Ordinary Kriging*

```
> m <- vgm(10.48712, "Exp", 4549, 0.740627)
> x <- krige(co~1, ta , databaru, model = m)
[using ordinary kriging]
> print(v)
```

### Lampiran 8. *Output* Nilai Semivariogram Dengan *Ordinary Kriging*

|   | np | dist      | gamma     | dir.hor | dir.ver | id   |
|---|----|-----------|-----------|---------|---------|------|
| 1 | 1  | 110.8016  | 0.186050  | 0       | 0       | var1 |
| 2 | 3  | 540.7772  | 3.533817  | 0       | 0       | var1 |
| 3 | 3  | 803.7296  | 17.683100 | 0       | 0       | var1 |
| 4 | 4  | 1116.1266 | 0.960375  | 0       | 0       | var1 |
| 5 | 4  | 1330.1952 | 3.430575  | 0       | 0       | var1 |
| 6 | 6  | 1752.8274 | 4.520125  | 0       | 0       | var1 |
| 7 | 9  | 2003.4496 | 6.051378  | 0       | 0       | var1 |
| 8 | 5  | 2354.9470 | 2.533260  | 0       | 0       | var1 |

**Lampiran 8.** *Output* Nilai Semivariogram Dengan *Ordinary Kriging* (Lanjutan)

|    |    |           |           |   |        |
|----|----|-----------|-----------|---|--------|
| 9  | 6  | 2722.2017 | 8.995850  | 0 | 0 var1 |
| 10 | 11 | 2946.4792 | 8.077882  | 0 | 0 var1 |
| 11 | 6  | 3305.9725 | 25.567542 | 0 | 0 var1 |
| 12 | 11 | 3648.4823 | 10.756050 | 0 | 0 var1 |
| 13 | 12 | 3921.8014 | 22.763425 | 0 | 0 var1 |
| 14 | 7  | 4165.6889 | 19.083679 | 0 | 0 var1 |
| 15 | 6  | 4549.1844 | 10.652058 | 0 | 0 var1 |

**Lampiran 9.** *Output* Hasil Estimasi CO Dan Variansi Error Dengan *Ordinary Kriging*

coordinates var1.pred var1.var

|   |                   |           |          |
|---|-------------------|-----------|----------|
| 1 | (9194045, 694659) | 13.275166 | 3.026011 |
| 2 | (9195333, 692792) | 11.333343 | 4.215726 |
| 3 | (9193945, 692612) | 14.602591 | 4.353334 |
| 4 | (9195246, 692233) | 12.139502 | 4.823248 |
| 5 | (9196866, 692182) | 9.893908  | 3.308166 |
| 6 | (9197608, 691479) | 10.444323 | 2.232034 |
| 7 | (9199725, 691885) | 11.531787 | 1.905051 |
| 8 | (9197582, 693261) | 8.942817  | 3.429542 |
| 9 | (9199044, 692626) | 10.774997 | 3.151848 |

**Lampiran 9.** *Output Hasil Estimasi CO Dan Variansi Error Dengan Ordinary Kriging (Lanjutan)*

10 (9185035, 694642) 9.278426 9.932657  
 11 (9184664, 690840) 11.260078 8.542884  
 12 (9192516, 691990) 14.543516 2.310465  
 13 (9190760, 693329) 9.770036 4.587801  
 14 (9187747, 690891) 11.618966 4.018492  
 15 (9187105, 688879) 12.165020 6.275844  
 16 (9197029, 692393) 9.570372 3.131133  
 17 (9201147, 691441) 11.437718 4.902337  
 18 (9196621, 687396) 12.168871 9.074268  
 19 (9187876, 690830) 11.601625 4.148807  
 20 (9193839, 696990) 10.896828 7.256954

**Lampiran 10.** *Output Nilai Variansi Hasil Estimasi Co Dengan Ordinary Kriging*

**Descriptive Statistics: Estimasi CO**

| Variable    | Variance | Range |
|-------------|----------|-------|
| Estimasi CO | 2.413    | 5.660 |

**Lampiran 11.** Perhitungan Semivariogram Teoritis Dengan  
*Universal Kriging*

| dist (h) | Gamma    | Sph      | Exp      | Gau      | a(range) | c(sill=variansi data) |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------------------|
| 110.8016 | 0.210778 | 0.000152 | 0.738987 | 0.004091 | 4549     | 10.48712              |
| 540.7772 | 3.129277 | 0.017618 | 3.145841 | 0.465066 | 4549     | 10.48712              |
| 803.7296 | 18.21668 | 0.057841 | 4.314646 | 1.450996 | 4549     | 10.48712              |
| 1116.127 | 0.59459  | 0.154899 | 5.463864 | 3.44896  | 4549     | 10.48712              |
| 1330.195 | 3.306382 | 0.262213 | 6.12524  | 5.148019 | 4549     | 10.48712              |
| 1752.827 | 4.875536 | 0.599965 | 7.186259 | 8.249336 | 4549     | 10.48712              |
| 2003.45  | 6.103959 | 0.895867 | 7.689129 | 9.442493 | 4549     | 10.48712              |
| 2354.947 | 2.234169 | 1.454963 | 8.268037 | 10.23948 | 4549     | 10.48712              |
| 2722.202 | 8.084084 | 2.247343 | 8.745362 | 10.45492 | 4549     | 10.48712              |
| 2946.479 | 8.446148 | 2.849827 | 8.984835 | 10.48029 | 4549     | 10.48712              |
| 3305.973 | 28.34384 | 4.025373 | 9.301926 | 10.48679 | 4549     | 10.48712              |
| 3648.482 | 9.790459 | 5.410597 | 9.541556 | 10.48711 | 4549     | 10.48712              |
| 3921.801 | 21.00581 | 6.719937 | 9.697516 | 10.48712 | 4549     | 10.48712              |
| 4165.689 | 14.60706 | 8.053208 | 9.814829 | 10.48712 | 4549     | 10.48712              |
| 4549.184 | 7.96005  | 10.4884  | 9.965061 | 10.48712 | 4549     | 10.48712              |

## Lampiran 12. Perhitungan Semivariogram Teoritis Dengan *Ordinary Kriging*

| dist (h) | gamma    | Sph      | exp      | Gauss    | a(range) | c(sill=variansi data) |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------------------|
| 110.8016 | 0.18605  | 0.000152 | 0.738987 | 0.004091 | 4549     | 10.48712              |
| 540.7772 | 3.533817 | 0.017618 | 3.145841 | 0.465066 | 4549     | 10.48712              |
| 803.7296 | 17.6831  | 0.057841 | 4.314646 | 1.450996 | 4549     | 10.48712              |
| 1116.127 | 0.960375 | 0.154899 | 5.463864 | 3.44896  | 4549     | 10.48712              |
| 1330.195 | 3.430575 | 0.262213 | 6.12524  | 5.148019 | 4549     | 10.48712              |
| 1752.827 | 4.520125 | 0.599965 | 7.186259 | 8.249336 | 4549     | 10.48712              |
| 2003.45  | 6.051378 | 0.895867 | 7.689129 | 9.442493 | 4549     | 10.48712              |
| 2354.947 | 2.53326  | 1.454963 | 8.268037 | 10.23948 | 4549     | 10.48712              |
| 2722.202 | 8.99585  | 2.247343 | 8.745362 | 10.45492 | 4549     | 10.48712              |
| 2946.479 | 8.077882 | 2.849827 | 8.984835 | 10.48029 | 4549     | 10.48712              |
| 3305.973 | 25.56754 | 4.025373 | 9.301926 | 10.48679 | 4549     | 10.48712              |
| 3648.482 | 10.75605 | 5.410597 | 9.541556 | 10.48711 | 4549     | 10.48712              |
| 3921.801 | 22.76343 | 6.719937 | 9.697516 | 10.48712 | 4549     | 10.48712              |
| 4165.689 | 19.08368 | 8.053208 | 9.814829 | 10.48712 | 4549     | 10.48712              |
| 4549.184 | 10.65206 | 10.4884  | 9.965061 | 10.48712 | 4549     | 10.48712              |

### Lampiran 13. Perhitungan MSE Dengan *Universal Kriging*

| gamma    | Sph      | Exp      | Gau      | e.sph    | e.exp    | e.gau    |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 0.210778 | 0.000152 | 0.738987 | 0.004091 | 0.000472 | 0.002968 | 0.000454 |
| 3.129277 | 0.017618 | 3.145841 | 0.465066 | 0.103004 | 2.92E-06 | 0.075511 |
| 18.21668 | 0.057841 | 4.314646 | 1.450996 | 3.507909 | 2.056027 | 2.9903   |
| 0.59459  | 0.154899 | 5.463864 | 3.44896  | 0.002057 | 0.252232 | 0.086675 |
| 3.306382 | 0.262213 | 6.12524  | 5.148019 | 0.098585 | 0.084531 | 0.036081 |
| 4.875536 | 0.599965 | 7.186259 | 8.249336 | 0.194473 | 0.056803 | 0.121091 |
| 6.103959 | 0.895867 | 7.689129 | 9.442493 | 0.288555 | 0.026732 | 0.118572 |
| 2.234169 | 1.454963 | 8.268037 | 10.23948 | 0.006459 | 0.387314 | 0.681755 |
| 8.084084 | 2.247343 | 8.745362 | 10.45492 | 0.362421 | 0.004652 | 0.059796 |
| 8.446148 | 2.849827 | 8.984835 | 10.48029 | 0.333179 | 0.003087 | 0.044019 |
| 28.34384 | 4.025373 | 9.301926 | 10.48679 | 6.291358 | 3.857386 | 3.392278 |
| 9.790459 | 5.410597 | 9.541556 | 10.48711 | 0.204077 | 0.000659 | 0.005163 |
| 21.00581 | 6.719937 | 9.697516 | 10.48712 | 2.171129 | 1.360399 | 1.177052 |
| 14.60706 | 8.053208 | 9.814829 | 10.48712 | 0.456946 | 0.244314 | 0.180573 |
| 7.96005  | 10.4884  | 9.965061 | 10.48712 | 0.068006 | 0.042767 | 0.067937 |
| Mean     |          |          |          | 0.939242 | 0.558658 | 0.602484 |
| MSE      |          |          |          | 0.969145 | 0.747434 | 0.776198 |

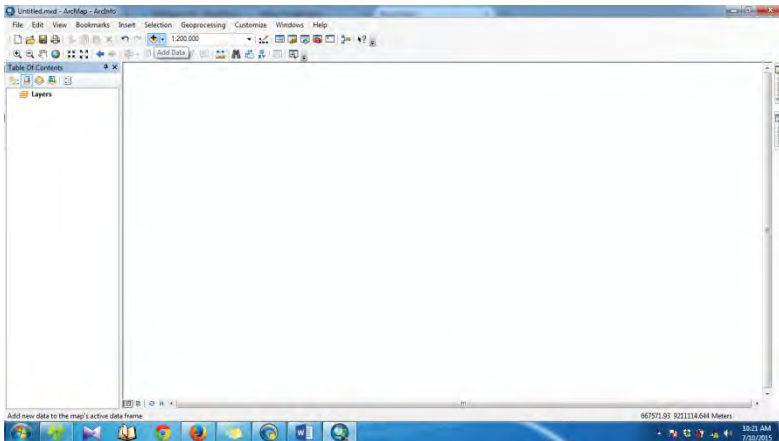


**Lampiran 14.** Perhitungan MSE Dengan *Ordinary Kriging*

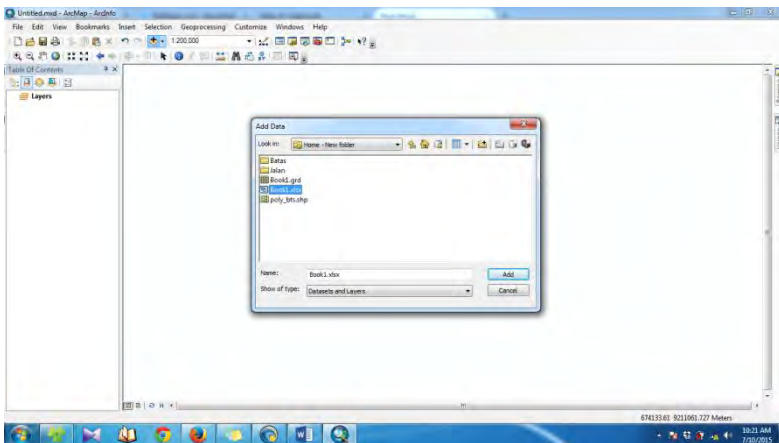
| gamma    | Sph      | Exp      | gauss    | e.sph    | e.exp    | e.gau    |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 0.18605  | 0.000152 | 0.738987 | 0.004091 | 0.000368 | 0.003253 | 0.000352 |
| 3.533817 | 0.017618 | 3.145841 | 0.465066 | 0.131528 | 0.001601 | 0.100183 |
| 17.6831  | 0.057841 | 4.314646 | 1.450996 | 3.304784 | 1.901229 | 2.802991 |
| 0.960375 | 0.154899 | 5.463864 | 3.44896  | 0.006902 | 0.21576  | 0.065884 |
| 3.430575 | 0.262213 | 6.12524  | 5.148019 | 0.106793 | 0.077247 | 0.031379 |
| 4.520125 | 0.599965 | 7.186259 | 8.249336 | 0.163486 | 0.07562  | 0.147947 |
| 6.051378 | 0.895867 | 7.689129 | 9.442493 | 0.282758 | 0.028534 | 0.122337 |
| 2.53326  | 1.454963 | 8.268037 | 10.23948 | 0.012369 | 0.349869 | 0.631764 |
| 8.99585  | 2.247343 | 8.745362 | 10.45492 | 0.484493 | 0.000667 | 0.022648 |
| 8.077882 | 2.849827 | 8.984835 | 10.48029 | 0.290772 | 0.008751 | 0.0614   |
| 25.56754 | 4.025373 | 9.301926 | 10.48679 | 4.936862 | 2.814577 | 2.419459 |
| 10.75605 | 5.410597 | 9.541556 | 10.48711 | 0.303977 | 0.015691 | 0.000769 |
| 22.76343 | 6.719937 | 9.697516 | 10.48712 | 2.738229 | 1.816149 | 1.603273 |
| 19.08368 | 8.053208 | 9.814829 | 10.48712 | 1.294375 | 0.913953 | 0.786179 |
| 10.65206 | 10.4884  | 9.965061 | 10.48712 | 0.000285 | 0.005021 | 0.000289 |
| Mean     |          |          |          | 0.937199 | 0.548528 | 0.586457 |
| MSE      |          |          |          | 0.96809  | 0.740627 | 0.765805 |

## Lampiran 15. Langkah-Langkah Pembuatan Peta Titik Estimasi Menggunakan *Arcgis*

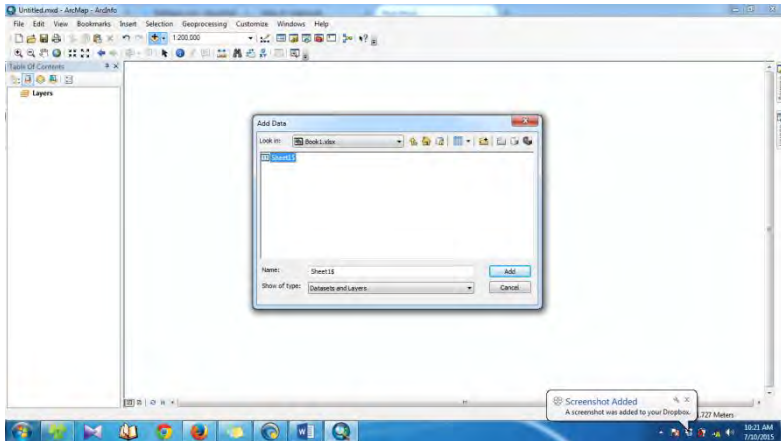
1. Membuka software *arcgis*, kemudian klik *add data*.



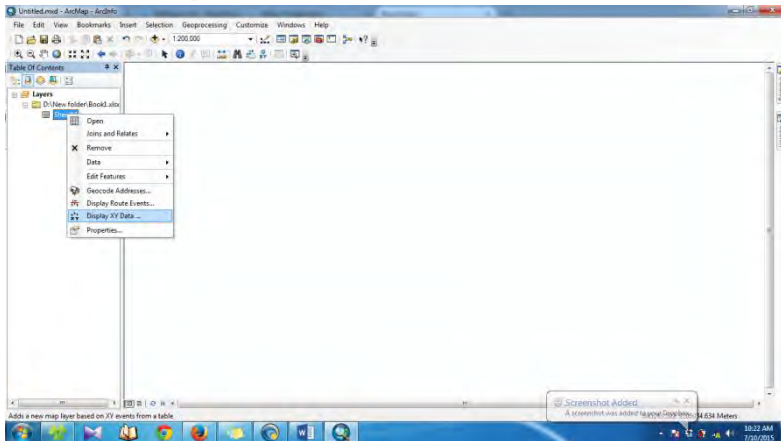
2. Memilih data yang telah disimpan dalam ms.excel (book.xls).  
Data yang dimaksud adalah data koordinat titik lokasi yang akan diestimasi.



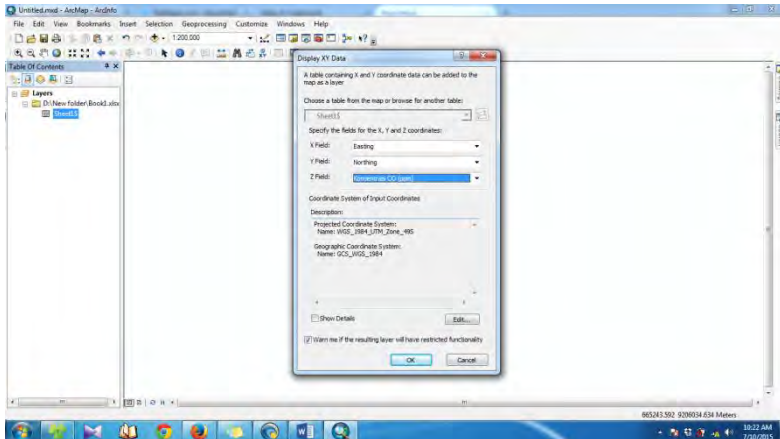
3. Memilih data pada sheet 15 dengan tipe data “*dataset* dan *layer*”.



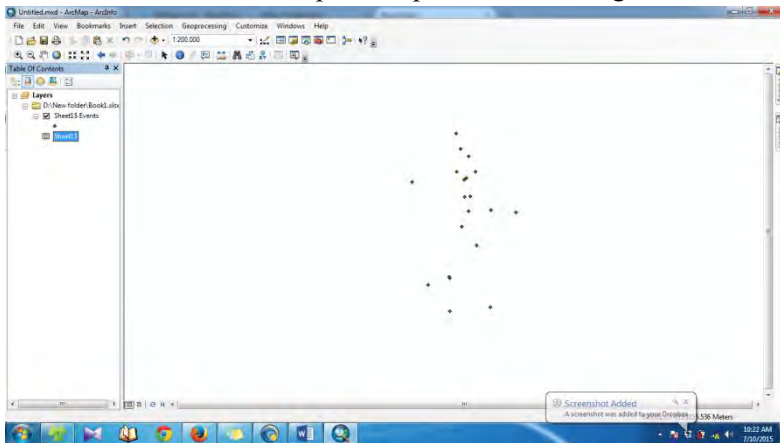
4. Pada *Table of content-Layer*, klik sheet15. Kemudian memilih *display xy data*.



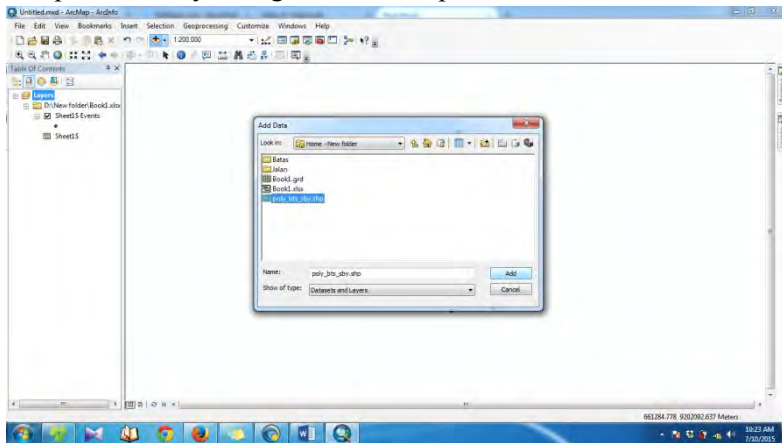
5. Pada kotak dialog display xy data, memasukkan nilai koordinat x,y, dan konsentrasi CO. Kemudian klik OK.



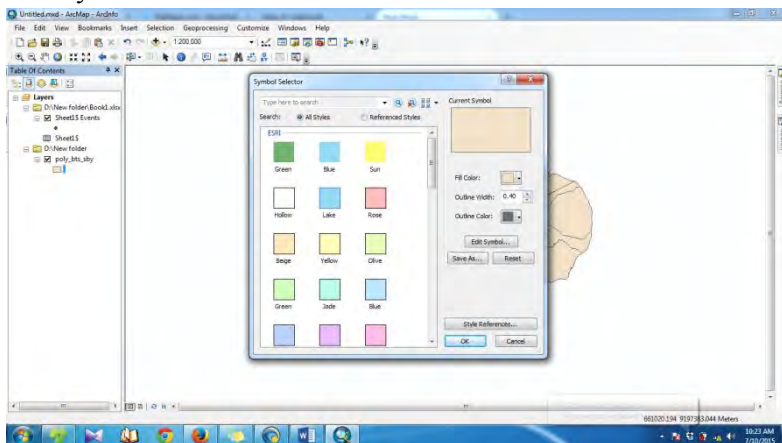
6. Kemudian muncul output berupa titik-titik sebagai berikut.



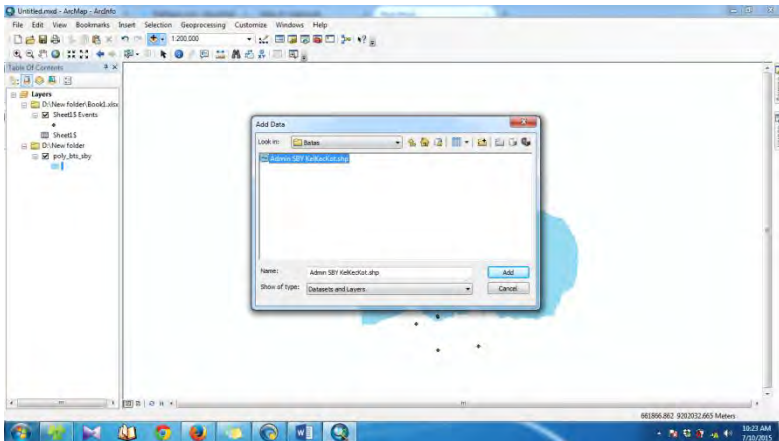
7. Selanjutnya, kembali klik add data, kemudian memilih file peta Surabaya dengan format .shp.



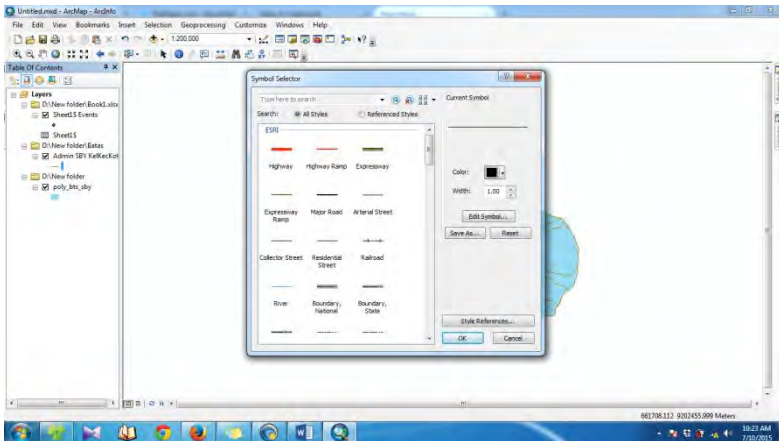
8. Memilih warna peta sesuai keinginan setelah peta muncul di layer. Kemudian klik OK.

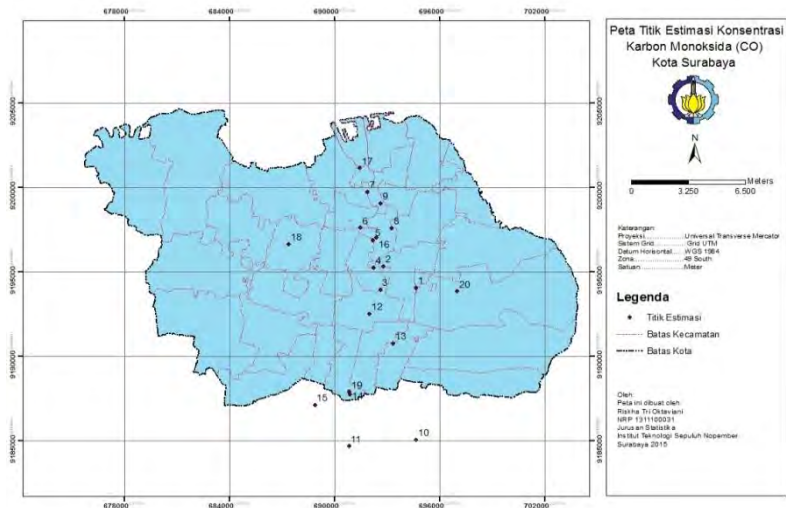


9. Menambahkan batas kota, kecamatan, dan kelurahan di Surabaya dengan klik add data. Kemudian pilih file batas-batas tersebut.



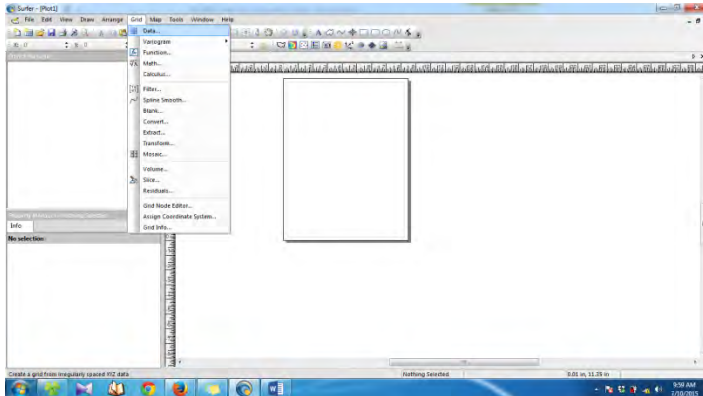
10. Memilih warna batas-batas pada langkah ke-9 dengan menu *symbol selector* sesuai keinginan. Kemudian klik OK.



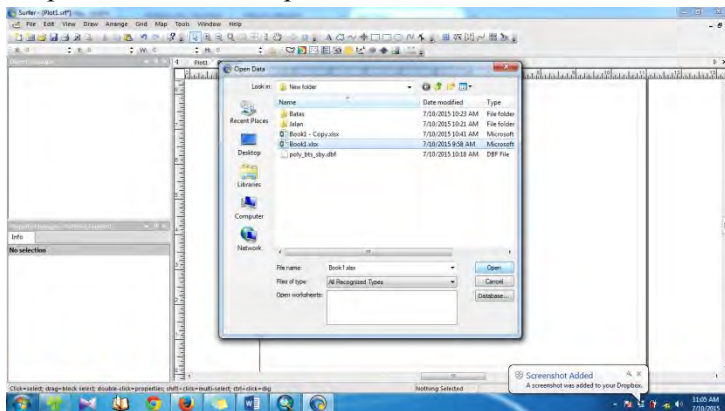


**Lampiran 16.** Langkah-langkah Pembuatan *Overlay* Peta Hasil Estimasi CO dengan Metode *Universal Kriging* Menggunakan *surfer* dan *arcgis*

1. Membuka software *surfer*. Software tersebut digunakan untuk membuat *contour* hasil estimasi CO. Kemudian klik menu *Grid-Data*



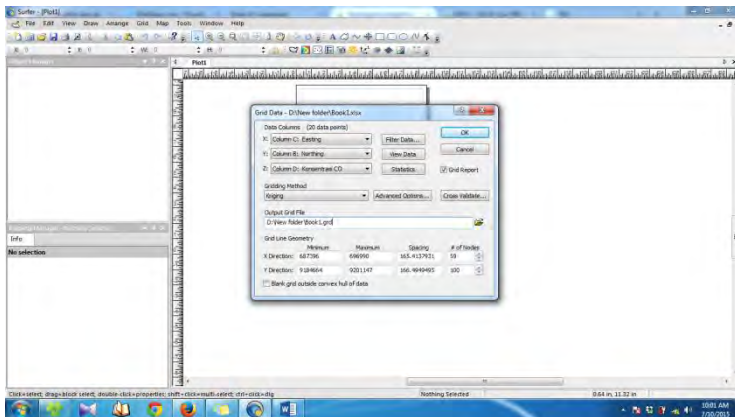
2. Open data, kemudian pilih file *book1.xlsx*



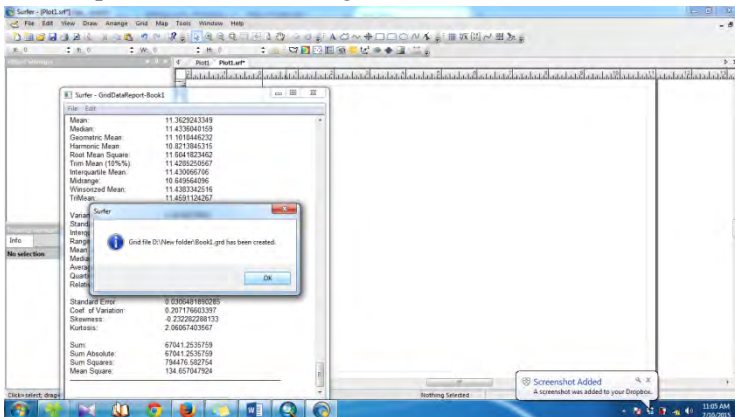
3. Pada kotak dialog *Grid Data*, mengisi data column dengan memasukkan titik koordinat  $x=easting$  dan  $y=northing$ , serta



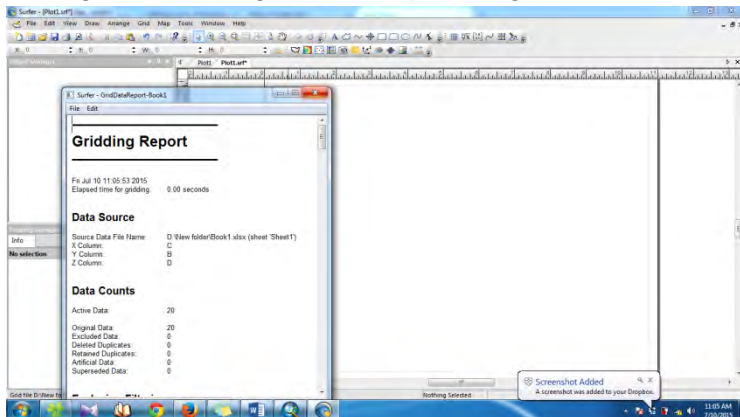
data konsentrasi CO. Kemudian memilih metode kriging dan klik OK.



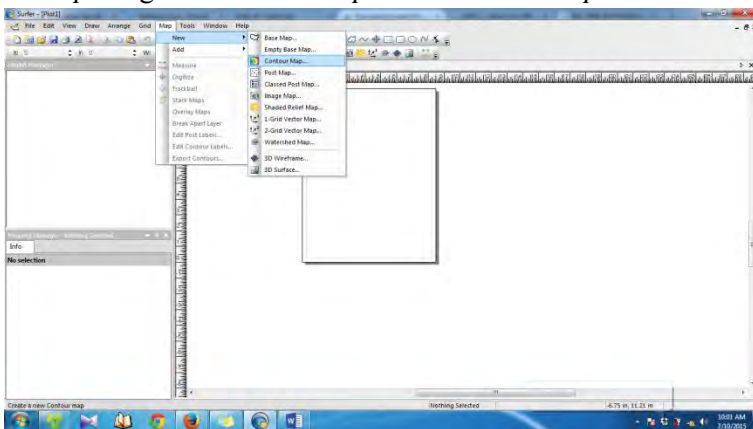
4. Kemudian dihasilkan *report* sebagai berikut, yang selanjutnya disimpan ke dalam *book1.grid*



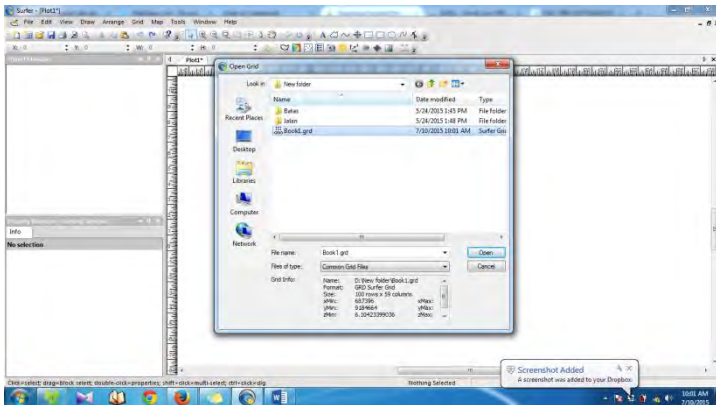
5. Langkah ke-4 menghasilkan *output* sebagai berikut.



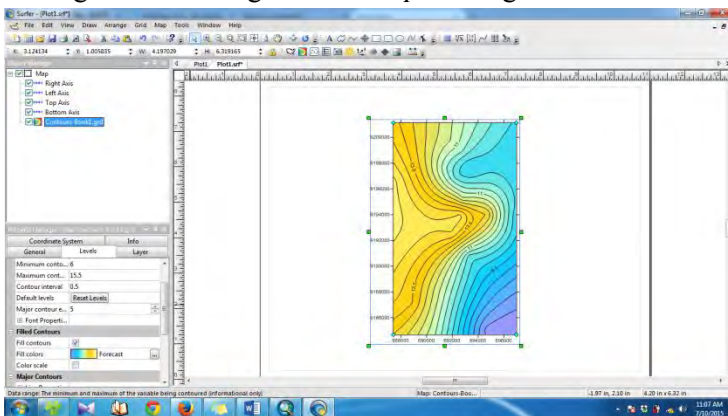
6. Berdasarkan report pada langkah ke-4, maka dibuat *contour map* dengan klik menu *Map-New-Contour Map*.



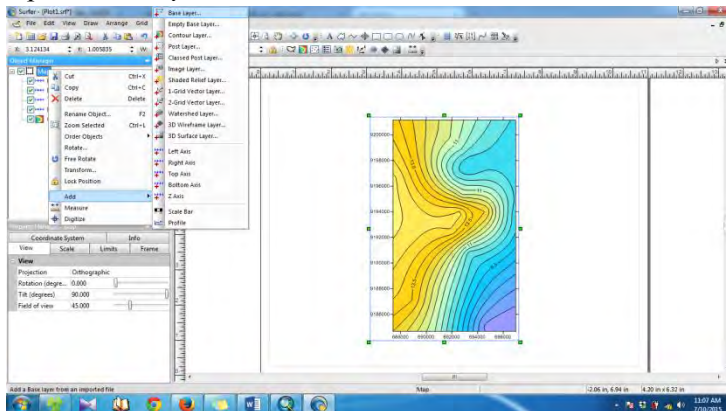
7. Kemudian klik *grid-open grid*. Pada kotak dialog *open grid*, membuka hasil report yang telah disimpan dalam format *.grid* (book1.grid)



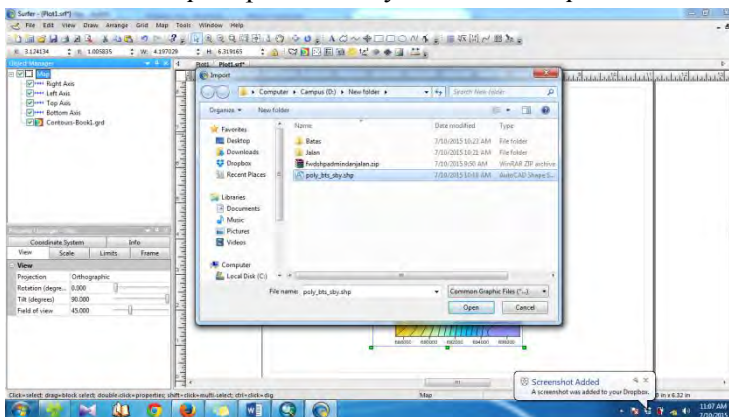
8. Langkah ke-7 menghasilkan *output* sebagai berikut.



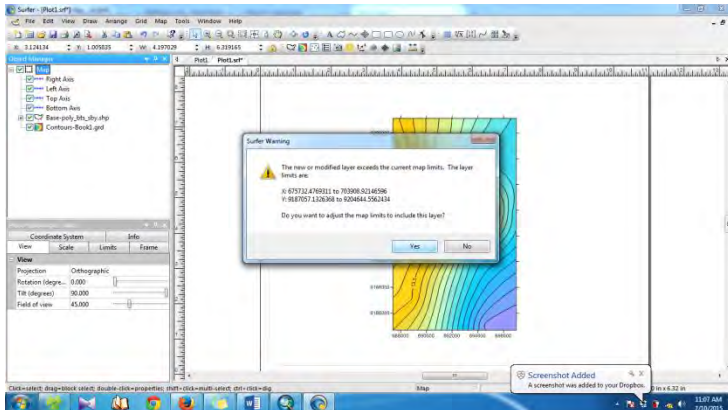
9. Pada *object manager-map*, memilih sub menu *add*, kemudian pilih *base layer*.



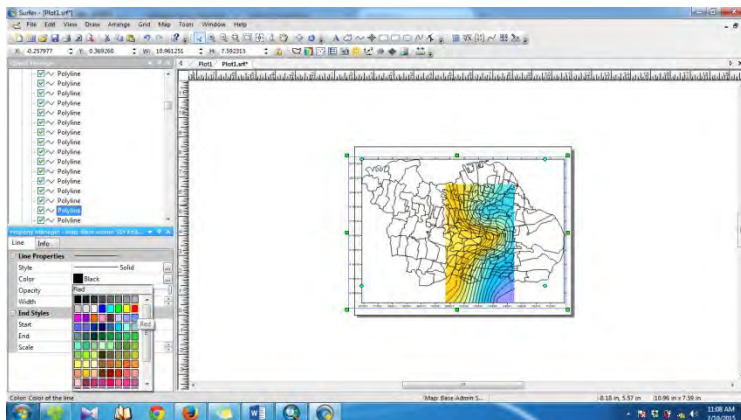
10. Kemudian *import* peta Surabaya ke dalam *map* tersebut.



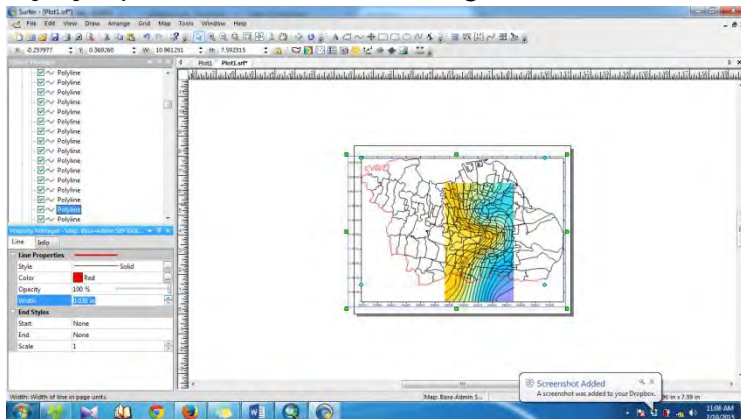
11. Selanjutnya muncul *surfer warning*, klik *yes*.



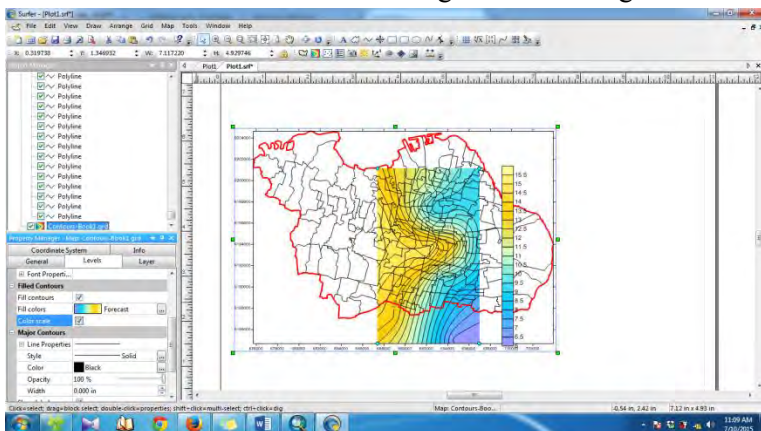
12. Hasil dari *import* peta pada langkah ke-10 adalah sebagai berikut.



13. Selanjutnya memberi warna pada batas kota dengan *line property*, memilih warna sesuai keinginan.

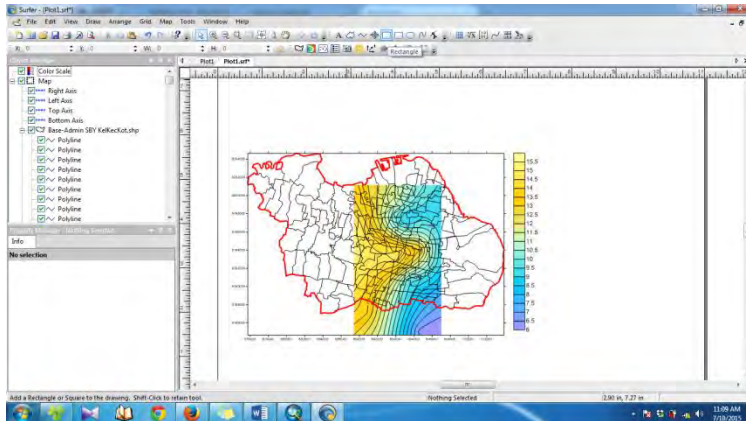


14. Kemudian menambahkan keterangan warna sebagai berikut.

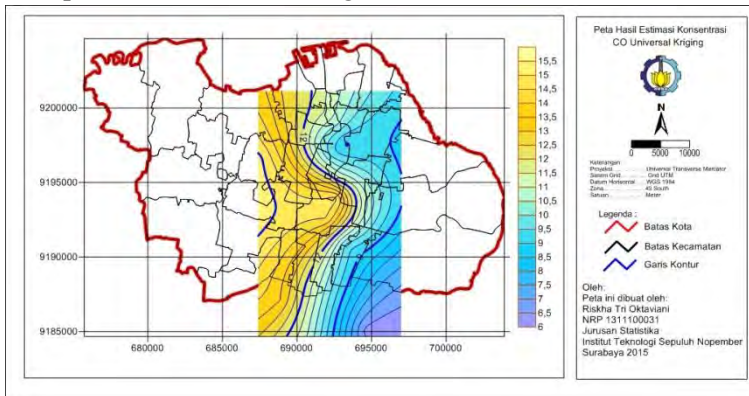




15. Dihasilkan *output* sebagai berikut.



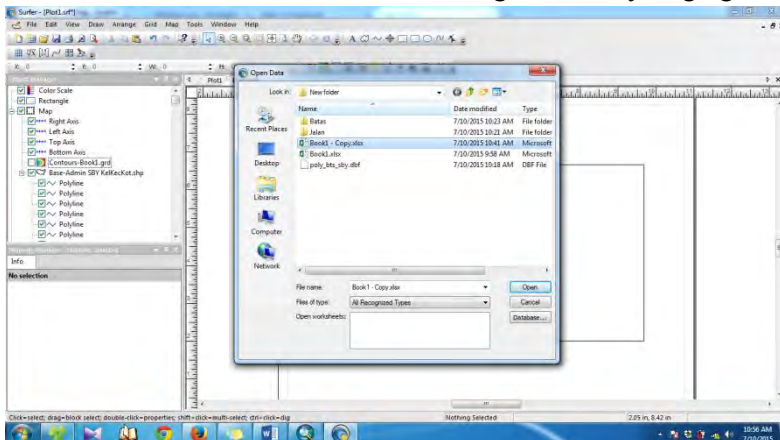
16. Selanjutnya, menghapus batas kelurahan, menambahkan garis koordinat, menambahkan layout, dan legenda, sehingga diperoleh hasil akhir sebagai berikut.



## Lampiran 17. Langkah-langkah Pembuatan *Overlay* Peta Hasil Estimasi CO dengan Metode *Ordinary Kriging* Menggunakan *surfer* dan *arcgis*

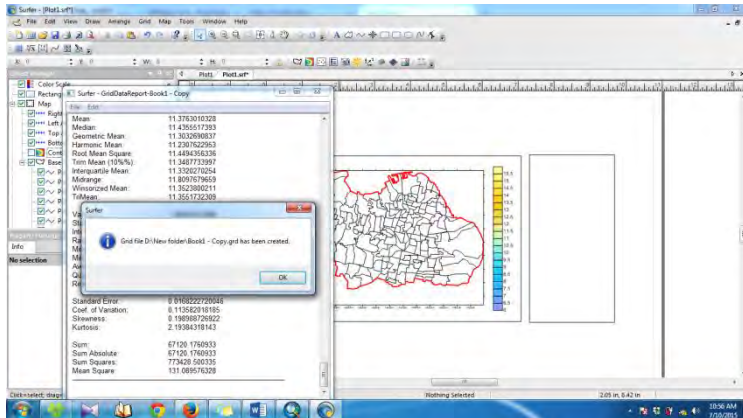
Langkah-langkah pembuatan overlay peta hasil estimasi CO dengan ordinary kriging sama dengan langkah-langkah pada pembuatan overlay peta hasil estimasi CO dengan universal kriging. Hanya saja pada pembuatan contour map digunakan hasil estimasi CO sebagai berikut.

### 1. Membuka data hasil estimasi CO dengan ordinary kriging.

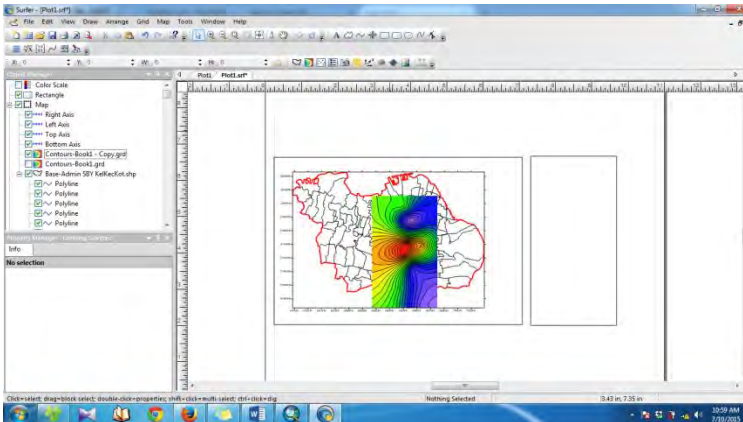




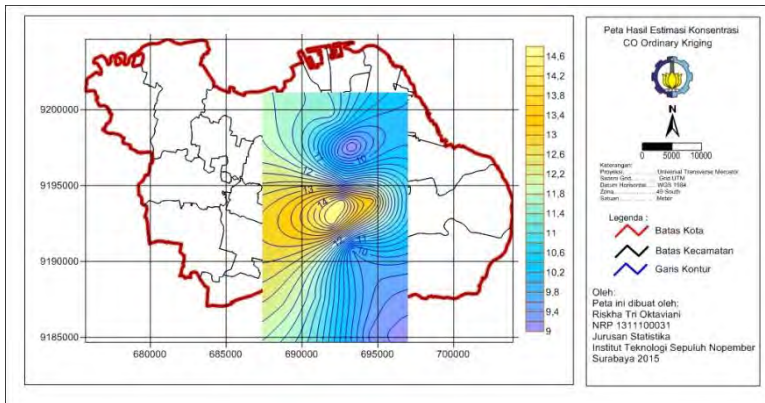
## 2. Dihasilkan *report* sebagai berikut.



## 3. Selanjutnya dibuat contour map seperti langkah pada universal kriging yang menghasilkan output sebagai berikut.



4. Kemudian disajikan dengan langkah-langkah seperti langkah-langkah pada universal kriging sehingga memperoleh hasil sebagai berikut.



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BIOGRAFI PENULIS



**R**iskha Tri Oktaviani, lahir di Magetan, 21 tahun 8 bulan silam, tepatnya pada 09 Oktober 1993, anak bungsu dari pasangan S. Wiyono Sarmo (Alm) dan Wagiyem. Ia menempuh jenjang pendidikan formal TK Gotong Royong, SDN Duwet III, SMPN 1 Sukomoro, dan SMAN 1 Maospati, kemudian tahun 2011 ia diterima di Jurusan Statistika ITS melalui jalur SNMPTN-BIDIK MISI. Semasa kuliah, Riskha menempa dirinya dengan aktif

dibeberapa organisasi dan kegiatan kemahasiswaan. Sebagai Wakil Direktur II BSO-BPM JMMI-ITS 2014/2015, Koordinator putri Tim Media FORSIS-ITS 2013/2014, Wakil Kepala Biro Penelitian dan Pengembangan BSO-BPM JMMI-ITS 2013/2014, Sekretaris Departemen Media LESIPU Surabaya 2013/2014, Bendahara Kepanitiaan PSI 2 JMMI-ITS, dan kepanitiaan kegiatan kampus lainnya. Riskha juga memiliki pengalaman menjadi mentor mata kuliah Agama Islam dan pernah mengikuti *Internship Program* di Dinas Kependudukan dan Catatan Sipil Kota Surabaya. Sekarang, Ia sedang mengukir kembali masa-masa emasnya di dunia jurnalistik. Menurutnya, menulis adalah salah satu cara untuk bermanfaat. Sebagaimana dalam petikan hadist “*Khoirun nas, anfa’uhum lin nas*-sebaik-baik manusia adalah yang paling bermanfaat untuk orang lain”. Apabila pembaca memiliki saran, kritik, atau ingin berdiskusi dengan penulis, dapat dihubungi melalui email: [riskha.great@gmail.com](mailto:riskha.great@gmail.com).